

SCHRIFTENREIHE

WAR 200

Institut **WAR**

Wasserversorgung und Grundwasserschutz •

Abwassertechnik • Abfalltechnik • Industrielle Stoffkreisläufe •

Umwelt- und Raumplanung der TU Darmstadt

Susanne Bieker

**Semizentrale Ver- und Entsorgungssysteme:
neue Lösungen für schnell wachsende
urbane Räume**

Untersuchung empfehlenswerter Größenordnungen

Darmstadt 2009

Herausgeber:

Verein zur Förderung des Instituts **WAR**

Wasserversorgung und Grundwasserschutz • Abwassertechnik •

Abfalltechnik • Industrielle Stoffkreisläufe • Umwelt- und Raumplanung

der Technischen Universität Darmstadt

Semizentrale Ver- und Entsorgungssysteme - neue Lösungen für schnell wachsende urbane Räume

Untersuchung empfehlenswerter Größenordnungen

Dem Fachbereich 13 – Bauingenieurwesen und Geodäsie
der Technischen Universität Darmstadt

zur Erlangung des akademischen Grades eines
Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)
vorgelegte

Dissertation

von
Dipl.-Ing. Susanne Bieker
aus Essen

D 17
Darmstadt im August 2009

Bieker, Susanne:

Semizentrale Ver- und Entsorgungssysteme:
neue Lösungen für schnell wachsende urbane
Räume. Untersuchung empfehlenswerter Grö-
ßenordnungen / Hrsg.: Verein zur Förderung
des Instituts WAR -Wasserversorgung und
Grundwasserschutz · Abwassertechnik · Abfalltechnik ·
Industrielle Stoffkreisläufe · Umwelt- und Raumplanung-
der TU Darmstadt e.V.

Darmstadt, Techn. Universität, Diss., 2009

Darmstadt: Eigenverlag, 2009

(Schriftenreihe WAR 200)

ISSN-Nr.: 0721-5282

ISBN-Nr.: 3-932518-96-9

Referent: Professor Dr.-Ing. Hans Reiner Böhm
Korreferent: Professor Dr.-Ing. Hans Joachim Linke

Tag der Einreichung: 18.05.2009
Tag der mündlichen Prüfung: 24.07.2009

Alle Rechte vorbehalten. Wiedergabe nur mit Genehmigung des Vereins zur Förderung des Instituts WAR -Wasserversorgung und Grundwasserschutz · Abwassertechnik · Abfalltechnik · Industrielle Stoffkreisläufe · Umwelt- und Raumplanung- der Technischen Universität e.V., Fontanestraße 8, D-64291 Darmstadt.

Herstellung: Offsetdruck Otzberg GmbH, Schlossgasse 7
64853 Otzberg-Habitzheim

Vertrieb: Institut WAR
Wasserversorgung und Grundwasserschutz · Abwassertechnik · Abfalltechnik ·
Industrielle Stoffkreisläufe · Umwelt- und Raumplanung der TU Darmstadt,
Petersenstraße 13, D-64287 Darmstadt

Telefon: 06151 / 16 2748
Telefax: 06151 / 16 3758

Danksagung

Die vorliegende Arbeit ist im Rahmen meiner Tätigkeit als wissenschaftliche Mitarbeiterin am Fachgebiet Umwelt- und Raumplanung des Instituts WAR an der Technischen Universität entstanden. In der Zeit von 2004 bis 2009 war ich Mitglied eines interdisziplinären Forschungsteams, das sich erstmals mit grundlegenden Fragestellungen alternativer semizentraler Lösungsansätze für schnell wachsende urbane Räume in China beschäftigte.

Prof. Dr.-Ing. Hans Reiner Böhm hat mir in dieser ganzen Zeit die Möglichkeit gegeben, eigene Ideen und Ansätze in das interdisziplinäre Team und die Forschungsarbeit einzubringen. Ich möchte ihm für die Möglichkeit danken, parallel zu meinen Forschungstätigkeiten am Institut und im Fachgebiet meinen eigenen Fragestellungen im Rahmen dieser Arbeit nachzugehen, die in großen Teilen auf meiner Arbeit und der Arbeit meiner Kolleginnen und Kollegen im Forschungsprojekt aufbauen. Ergänzend dazu möchte ich Herrn Prof. Dr.-Ing. Hans Joachim Linke ganz herzlich für die Übernahme des Koreferates und seine umfassende Unterstützung während meiner Arbeit am Institut danken.

Auch den Mitarbeitern des Institutes WAR danke ich für Ihre Unterstützung. Insbesondere den Kolleginnen und Kollegen, mit denen ich *semizentral* kollegial zusammenarbeiten durfte. Explizit nennen möchte ich Alexandra Selz als UR-Mitstreiterin der AURAs und Nicole Umlauf, die in meiner Zeit am Institut nicht nur eine große Unterstützung in Abfall- und Wasserfragen gewesen ist. Mein Dank gilt auch dem Fachgebiet Umwelt- und Raumplanung, das mich auch nach meinem Wechsel zur Abwassertechnik nach Kräften unterstützt hat. Insbesondere möchte ich Birte Frommer für 5 Jahre konstruktiv-kreativer Zeit im gemeinsamen Büro danken. Auch Kai Wißbrok möchte ich danken – für unzählbare Stunden Recherchen, Formatierung und Kreativität mit beidem. Für die umfassende Unterstützung in allen Lebenslagen, aber auch beim Durchdenken semizentraler Hürden und Systeme danke ich ganz herzlich Dr. Anke Bockreis und Dr. Jan Berger.

Neben dem fachlichen Beistand ist mir – nicht nur in meiner Zeit am Institut WAR – auch immer von privater Seite viel Unterstützung entgegengebracht worden. Auch wenn Darmstadt ‚viel zu weit von zuhause weg ist‘, die Liebe und Fürsorge meiner Familie gibt mir auch ‚in der Ferne‘ den nötigen Rückhalt. Dafür möchte ich insbesondere meinen Eltern, aber auch meiner Cousine Esther und meinen Geschwistern Mike und Beate ganz herzlich danken!

Darmstadt im August 2009

Susanne Bieker

Kurzzusammenfassung

Während in Europa Handlungsansätze entwickelt werden, um mit den Folgen der rückläufigen Geburtenzahlen und schrumpfenden Siedlungsdichten umzugehen, ist die globale Bevölkerungsentwicklung durch gegenläufige Trends geprägt: Die Bevölkerungszahlen insgesamt steigen und die urbanen Zentren vieler Entwicklungs- und Schwellenländer wachsen rasant. Insbesondere das urbane Wachstum stellt die Welt vor neue Herausforderungen: Große Teile der urbanen Räume Asiens, Südamerikas und Afrikas müssen Zuwachsraten von bislang unerreichtem Ausmaß bewältigen. Besonders deutlich wird diese Entwicklung in den wirtschaftlich prosperierenden Regionen Asiens, in denen das Wirtschaftswachstum mit enormen Zuwachsraten der Bevölkerung von 1.000 Personen pro Tag und mehr in den urbanen Zentren einhergeht. Die Geschwindigkeit dieser Entwicklung stellt die eigentliche Herausforderung dar. Sowohl die Stadtentwicklungsplanung als auch insbesondere die Infrastrukturplanung und -realisierung kann mit ihren bisherigen Instrumenten und Verfahren nicht mehr Schritt halten.

Der Ansatz, integrierte semizentrale Ver- und Entsorgungssysteme für diese schnell wachsenden urbanen Räume zu entwickeln, bietet neue Lösungsmöglichkeiten. Flexiblere und gleichzeitig verlässlichere Planung und Umsetzung sind ebenso Teil des Systems wie technisch verlässliche Verfahren, die kombiniert dem Anspruch an eine nachhaltige Entwicklung näher kommen: Versorgungssicherheit auf hohem hygienischen Niveau, hohe Energie- und Ressourceneffizienz bis hin zum energieautarken Betrieb der Systeme und Flexibilität, auch unter sich verändernden räumlichen Rahmenbedingungen, schaffen neue Möglichkeiten einer zukunftsorientierten technischen Infrastrukturentwicklung.

Die vorliegende Arbeit entwickelt in diesem Zusammenhang ein räumliches Modell zur Empfehlung von Größenordnungen integrierter semizentraler Ver- und Entsorgungssysteme, die den Herausforderungen der dynamischen Entwicklung ebenso wie den hohen Ansprüchen einer nachhaltigen Entwicklung auf soziokultureller, ökologischer und ökonomischer Ebene gerecht werden können.

Summary

Spatial development in Europe is facing population decrease and shrinking urban regions as a result of demographic changes. At the same time, developing and newly industrialising countries all over the world are confronted with reverse developments: absolute population growth and rapid urbanisation rates. The rapid urbanisation, taking place in Asia, Latin America and Africa, poses major pressure on the urban centres. Especially the development of Asian countries is currently characterised by a combination of high economic growth rates with an increasing rate of urbanisation. The celerity of this development leads to delays in town planning and technical infrastructure planning as well as their implementation, because they cannot keep pace with the population increase. Unprecedented growth rates in urban regions of 1,000 people a day and more lead ineluctably to new challenges, among others, in infrastructure matters.

The Semicentralized Approach offers a sustainable solution to cope with these developments. The approach enables to be more flexible in planning and operation, plays on the strengths of reliable and compact structures and proceedings, reduces the investment and operation costs for the supply and treatment systems and, above all, enables a high efficiency in resource use (up to energy self-sufficient operation) and therefore a significantly reduction of resource consumption and global warming potential.

The doctoral thesis at hand develops a spatial model to recommend reliable and functional scales of semicentralised systems, meeting the requirements dynamic growth and sustainable development in ecological, economical and sociocultural matters.

Inhaltsverzeichnis

Danksagung	i
Kurzzusammenfassung	iii
Summary	iv
Abbildungsverzeichnis	x
Tabellenverzeichnis	xii
Abkürzungen	xiii

Teil A

1 Konzeptioneller Rahmen	1
1.1 Ansatzpunkt der Arbeit	1
1.2 Zielsetzung der Arbeit	1
1.3 Aufbau der Arbeit und methodisches Vorgehen	2
1.4 Grenzen der Untersuchung	4
2 Grundlagen	7
2.1 Schnell wachsende urbane Räume – neue Herausforderungen	7
2.2 Begriffsdefinitionen und Systemgrenzen	8
2.2.1 Zentrale Ver- und Entsorgungssysteme	12
2.2.2 Dezentrale Ver- und Entsorgungssysteme	15
2.3 Die Situation in der Volksrepublik China	16
2.3.1 Auswirkungen auf die Umwelt	17
2.3.2 Auswirkungen auf die technische Infrastruktur	22
2.3.3 Wasserbedarf sowie Abwasser- und Abfallaufkommen privater Haushalte in der Volksrepublik China	22
2.4 Zwischenfazit: Neue Herausforderungen urbanen Wachstums	25
2.5 Raumwissenschaftliche Grundlagen	27

Teil B

3 Neue Infrastrukturlösungen für Ver- und Entsorgungssysteme in schnell wachsenden urbanen Räumen – der Ansatz Semizentral	37
3.1 Konzeptionelle Ansätze zur Entwicklung semizentraler Ver- und Entsorgungssysteme in der Volksrepublik China	39
3.2 Methodisches Vorgehen: Entwicklung vollintegrierter semizentraler Systeme	42
3.2.1 Grundlagen zur Modellierung vollintegrierter semizentraler Systeme	42

3.2.2	Auswahl technischer Aufbereitungs-/ Behandlungsverfahren für den Einsatz in semizentralen Ver- und Entsorgungssystemen	45
3.2.3	Vorgehen zur Ermittlung empfehlenswerter Größenordnungen vollintegrierter Ver- und Entsorgungssysteme.....	47
3.2.4	Kriterien zur Bewertung vollintegrierter Ver- und Entsorgungssysteme	49
3.3	Ergebnisse: Der Ansatz vollintegrierter semizentraler Ver- und Entsorgungssysteme.....	53
3.3.1	Ergebnisse der ökologischen Bewertung	53
3.3.2	Ergebnisse der soziokulturellen Bewertung	55
3.3.3	Ergebnisse der ökonomischen Bewertung	56
3.4	Ergebnisse der Gesamtmodellierung vollintegrierter semizentraler Systeme.....	58
3.4.1	Zusammenführung der Einzelergebnisse der ökologischen, soziokulturellen und ökonomischen Bewertung	58
3.4.2	Empfehlenswerte technische Modulkombinationen	59
3.4.3	Empfehlenswerte Größenordnungen vollintegrierter semizentraler Ver- und Entsorgungssysteme.....	59

Teil C

4	Der raumwissenschaftliche Ansatz – semizentrale Systeme unterschiedlichen Integrationsgrades.....	65
4.1	Die Modellgrundlage: Das System der Zentralen Orte	66
4.2	Der Modellansatz: Reichweiten semizentraler Systemmodule.....	66
4.2.1	Methodisches Vorgehen zur Einzelempfehlung der Einzelmodulgrößen semizentraler Ver- und Entsorgungssysteme.....	68
4.2.2	Rahmenbedingungen zur Einzelempfehlung der Einzelmodulgrößen semizentraler Ver- und Entsorgungssysteme.....	69
4.2.3	Berücksichtigung neuer Erkenntnisse seit Abschluss der Betrachtungen vollintegrierter semizentraler Ver- und Entsorgungssysteme	70
4.2.4	Kriterien zur Ermittlung der empfehlenswerten Größenordnung der einzelnen Verfahren zur Stoffstrombehandlung.....	72
4.3	Ergebnisse – Größenempfehlungen der Einzelmodule semizentraler Ver- und Entsorgungssysteme.....	77
4.3.1	Ergebnisse der Größenmodellierung mittels größenrelevanter Systemkosten.....	77
4.3.1.1	Ranking der verschiedenen Größenordnungen semizentraler Trinkwasseraufbereitung und -versorgung	78
4.3.1.2	Ranking der verschiedenen Größenordnungen semizentraler Grauwasserbehandlung und Brauchwasserversorgung	79
4.3.1.3	Ranking der verschiedenen Größenordnungen semizentraler Schwarzwasserbehandlung.....	80
4.3.1.4	Ranking der verschiedenen Größenordnungen integrierter semizentraler Abfall- und Klärschlammbehandlung	81

4.3.2	Anwendung von Raumentwicklungsszenarien auf die Modellierungsergebnisse	83
4.3.2.1	Einfluss des Bodenpreises auf die empfehlenswerte Größe semizentraler Ver- und Entsorgungssysteme.....	83
4.3.2.2	Einfluss des Energiepreises auf die empfehlenswerte Größe semizentraler Ver- und Entsorgungssysteme.....	87
4.3.3	Größenempfehlung für semizentrale Ver- und Entsorgungssysteme.....	93
4.3.4	Gesamtsystemare Betrachtung: Zusammenführung der Einzelkomponenten zu einem integrierten Ver- und Entsorgungssystem	95
4.3.5	Einfluss der Siedlungsdynamik auf die empfehlenswerte Größe semizentraler Ver- und Entsorgungssysteme	97
4.3.6	Schlussfolgerungen: Empfehlenswerte Größenordnungen für integrierte semizentrale Ver- und Entsorgungssysteme	104
5	Übertragbarkeit des Semizentral Ansatzes	107
6	Zusammenfassung.....	111
7	Ausblick und weiterer Forschungsbedarf	115
	Quellen.....	119
	Anhang.....	129

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Aufbau der Arbeit.....	3
Abbildung 2:	Die Dynamik urbanen Wachstums, Einwohnerzuwachs pro Stunde	8
Abbildung 3:	Prinzipien der Funktionsmischung bzw. -trennung.....	10
Abbildung 4:	Komponenten und Einflussfaktoren von Infrastruktursystemen.....	12
Abbildung 5:	Konventionelles sektorales Ver- und Entsorgungssystem	13
Abbildung 6:	Die Volksrepublik China: wichtige Städte und Schwerpunkte urbanen Wachstums.....	17
Abbildung 7:	Wasserbedarfsmengen der Stadt Qingdao, Provinz Shandong, Volksrepublik China [$l/(EW \cdot d)$]	23
Abbildung 8:	Abfallzusammensetzung privater Haushalte in der Volksrepublik China, am Beispiel der Städte Shanghai und Qingdao).....	25
Abbildung 9:	Zentraler Ort und Ergänzungsgebiet	29
Abbildung 10:	Die Entstehung hexagonaler Marktgebiete.....	30
Abbildung 11:	Unterschiedliche Marktgebiete im System der Zentralen Orte	31
Abbildung 12:	Systemgrenzen Semizentral	38
Abbildung 13:	Massenströme im semizentralen System.....	41
Abbildung 14:	Die Suprazelle (nach Böhm et al. 2006).....	44
Abbildung 15:	Die Größenmodellierung vollintegrierter semizentraler Systeme: Die verschiedenen ‚Fälle‘	48
Abbildung 16:	Größenrelevantes Ranking der Fälle (Systemgrößen und -zuschnitte) nach ökologischer Bewertung	54
Abbildung 17:	Größenrelevantes Ranking der vollintegrierten Ver- und Entsorgungslösungen (Varianten) nach ökologischer Bewertung.....	54
Abbildung 18:	Größenrelevantes Ranking der Fälle (Systemgrößen und -zuschnitte) nach soziokultureller Bewertung.....	55
Abbildung 19:	Größenrelevantes Ranking der Varianten nach soziokultureller Bewertung.....	56
Abbildung 20:	Größenrelevantes Ranking der Fälle (Systemgrößen und -zuschnitte) nach ökonomischer Bewertung.....	57
Abbildung 21:	Größenrelevantes Ranking der spezifischen Kosten drei teuersten und drei günstigsten vollintegrierten Ver- und Entsorgungslösungen (Varianten) nach ökonomischer Bewertung	57
Abbildung 22:	Mittelwertbildung des Systemgrößenrankings: Zusammenführung der ökologischen, soziokulturellen und ökonomischen Bewertung der ‚Fälle‘	58
Abbildung 23:	Prinzipiskizze eines vollintegrierten semizentralen Systems	67
Abbildung 24:	Prinzipiskizze eines teilintegrierten semizentralen Systems	68

Abbildung 25: Entwicklung der spezifischen größenrelevanten Kosten in der Trinkwasseraufbereitung mittels Ultrafiltration im cross-flow Verfahren über die verschiedenen semizentralen Systemgrößen (Fälle).....	78
Abbildung 26: Entwicklung größenrelevanter spezifischer Kosten in der Grauwasserbehandlung mittels Biofilter über die verschiedenen Fälle.....	79
Abbildung 27: Entwicklung der spezifischen größenrelevanten Kosten in der Schwarzwasserbehandlung mittels Biofilter über die verschiedenen Fälle.....	81
Abbildung 28: Entwicklung der größenrelevanten spezifischen Kosten der integrierten semizentralen Abfall- und Klärschlammbehandlung (anaerobe MBA) über die verschiedenen Fälle	82
Abbildung 29: Vergleich der größenrelevanten spezifischen Kosten der Trinkwasseraufbereitung und -verteilung bei unterschiedlichen Bodenpreisen semizentraler Systeme	84
Abbildung 30: Vergleich der größenrelevanten spezifischen Kosten in der Grauwasserbehandlung bei unterschiedlichen Bodenpreisen	85
Abbildung 31: Vergleich der größenrelevanten spezifischen Kosten in der Schwarzwasserbehandlung bei unterschiedlichen Bodenpreisen	86
Abbildung 32: Auswirkungen des Bodenpreises auf die größenrelevanten spezifischen Kosten in der integrierten Abfall- und Klärschlammbehandlung	87
Abbildung 33: Einfluss von Energiepreisteigerungen auf die spezifischen größenrelevanten Kosten in der semizentralen Trinkwasseraufbereitung	89
Abbildung 34: Einfluss von Energiepreisteigerungen auf die spezifischen größenrelevanten Kosten in der semizentralen Grauwasserbehandlung	89
Abbildung 35: Einfluss von Energiepreisteigerungen auf die spezifischen größenrelevanten Kosten in der semizentralen Schwarzwasserbehandlung.....	90
Abbildung 36: Einfluss von Energiepreisteigerungen auf die spezifischen größenrelevanten Kosten in der semizentralen integrierten Abfall- und Klärschlammbehandlung.....	91
Abbildung 37: Auswirkungen einer Energiepreisteigerung unter Berücksichtigung des Gesamtenergieoutputs der integrierten Abfall- und Klärschlammbehandlung (mittels MBA anaerob-Verfahren).....	93
Abbildung 38: Szenarien der Dynamik: Unterschiedliche Zuzugsgeschwindigkeiten in semizentrale Siedlungserweiterungen	99
Abbildung 39: Vergleich der Szenarien 2 und 4 hinsichtlich der relativen Systemauslastung der semizentralen Größenordnungen ab 52.000 Einwohner	101
Abbildung 40: Relative Auswirkungen der Dynamik auf die Kosten integrierter semizentraler Systeme im Vergleich verschiedener Systemgrößen.....	102
Abbildung 41: Entwicklung der durchschnittlichen spezifischen Systemkosten semizentraler Systeme unter Berücksichtigung der Unterauslastung zu Beginn des Betrachtungszeitraumes.....	97
Abbildung 42: Regionen mit Wassermangel weltweit.....	107

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Technische Modulkombinationen vollintegrierter semizentraler Ver- und Entsorgungssysteme für schnell wachsende urbane Räume.....	47
Tabelle 2: Ökologische Kriterien zur Bewertung vollintegrierter semizentraler Systeme .	50
Tabelle 3: Soziokulturelle Kriterien zur Bewertung vollintegrierter semizentraler Systeme.....	51
Tabelle 4: Ökonomische Kriterien zur Bewertung vollintegrierter semizentraler System	52
Tabelle 5: Kriterien der ökonomischen Bewertung zur Größenempfehlung der Einzelmodule semizentraler Ver- und Entsorgungssysteme	74
Tabelle 6: Größenrelevante spezifische Gesamtkosten semizentraler Systeme.....	96
Tabelle 7: Auswirkungen der Dynamik auf die relative Systemauslastung: Vergleich der Szenarien 2 und 4	100

Tabellen im Anhang

Tabelle 0.1: Eingangsdaten Wasserversorgung: Größenrelevante Kosten für die Ultrafiltration im cross-flow Verfahren.....	134
Tabelle 0.2: Kostenstabilität Sensitivitätsprüfung: Größenrelevante Kosten für die Ultrafiltration im cross-flow Verfahren.....	135
Tabelle 0.3: Eingangsdaten Grauwasserbehandlung: Größenrelevante Kosten für die Aufbereitung mittels Biofilter	136
Tabelle 0.4: Kostenstabilität Sensitivitätsprüfung: Größenrelevante Kosten für die Grauwasseraufbereitung mittels Biofilter	137
Tabelle 0.5: Eingangsdaten Schwarzwasserbehandlung: Größenrelevante Kosten für die Behandlung mittels Biofilter	138
Tabelle 0.6: Kostenstabilität Sensitivitätsprüfung: Größenrelevante Kosten für die Schwarzwasserbehandlung mittels Biofilter	139
Tabelle 0.7: Eingangsdaten: Größenrelevante Kosten für die integrierte Abfall- und Klärschlammbehandlung mittels MBA anaerob-Verfahren.....	140
Tabelle 0.8: Kostenstabilität Sensitivitätsprüfung: Größenrelevante Kostender integrierte Abfall- und Klärschlammbehandlung mittels MBA anaerob-Verfahren	141

Abkürzungen

a	Jahr
AbfG	Abfallgesetz
ARL	Akademie für Raumordnung und Landesplanung
BauGB	Baugesetzbuch
BBR	Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung
BfAi	Bundesagentur für Außenwirtschaft
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
BMRBS	Bundesministerium für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
BMVBS	Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung
bspw.	beispielsweise
CIA	Central Intelligence Agency
CO ₂	Kohlendioxid
CH ₄	Methan
d	Tag
entspr.	entsprechend
EU	Europäische Union
EW	Einwohner
i.d.R.	in der Regel
Institut WAR	Institut für Wasserversorgung und Grundwasserschutz, Abwasserbehandlung, Abfallbehandlung, Industrielle Stoffkreisläufe, Umwelt- und Raumplanung
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
KAG	Kommunalabgabengesetz
KrW/AbfG	Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz
KVR-Leitlinien	Leitlinien zur Durchführung dynamischer Kostenvergleichsrechnungen
l	Liter
LAWA	Bund/ Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser
MBA	Mechanisch-biologische Abfallbehandlung
MBR	Membrane Batch Reactor
MKRO	Ministerkonferenz für Raumordnung
SBR	Sequencing Batch Reactor
TEHG	Gesetz über den Handel mit Berechtigungen zur Emission von Treibhausgasen
UBA	Umweltbundesamt

UN	United Nations (Vereinte Nationen)
VES	Ver- und Entsorgungssystem
VEZ	Ver- und Entsorgungszentrum
WHO	World Health Organisation (Weltgesundheitsorganisation)
ZOK	Zentrale-Orte-Konzept

Teil A

1 Konzeptioneller Rahmen

1.1 Ansatzpunkt der Arbeit

Ansatzpunkt der vorliegenden Arbeit sind gegenwärtige Herausforderungen in der Infrastrukturentwicklung in schnell wachsenden urbanen Räumen Chinas. Konventionelle sektorale Lösungen stoßen aufgrund der hohen Dynamik der Siedlungsentwicklung an ihre Grenzen. Neue, flexiblere und angepasste Lösungen werden benötigt, um den Herausforderungen für die Infrastrukturentwicklung erfolgreich begegnen zu können. Im Rahmen zweier interdisziplinärer Forschungsvorhaben wurden grundlegende technische Möglichkeiten integrierter Infrastruktursysteme entwickelt. Aus raumwissenschaftlicher Sicht sind neben den Rahmenbedingungen des Wachstums und der Siedlungsentwicklung auch und vor allem die Größenordnungen dieser neuen Infrastrukturlösungen von Bedeutung: Wie groß müssen alternative Infrastruktursysteme sein, um gleichzeitig dem Anspruch an Flexibilität, Anpassbarkeit und Realitätsnähe genügen zu können? Welche Rahmenbedingungen spielen für die Größenempfehlungen von integrierten Infrastruktursystemen eine Rolle? Welchen Einfluss auf die Systemgröße hat die Realisierung integrierter Lösungen mit größtmöglichen Synergieeffekten?

Das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderten Forschungsprojekt „Semizentrale Ver- und Entsorgungssysteme für schnell wachsende urbane Räume Chinas“ [Förderkennzeichen 02WD0398 und 02WD0607] setzt mit der Volksrepublik China (und dort insbesondere mit den schnell wachsenden urbanen Räumen an der Ostküste) den geographischen Ausgangspunkt dieser Arbeit, der sowohl für das Forschungsprojekt (Teil B dieser Arbeit) als auch für die weitergehenden Untersuchungen (Teil C dieser Arbeit) als Datenbasis dient.

1.2 Zielsetzung der Arbeit

Anknüpfend an die Herausforderungen der Infrastrukturentwicklung in schnell wachsenden urbanen Räumen Chinas werden unterschiedliche Ansätze zur Ermittlung empfehlenswerter Größenordnungen alternativer Infrastruktursysteme entwickelt. Im Rahmen des Forschungsprojektes werden so genannte ‚vollintegrierte‘ Lösungen entwickelt, die alle Stoffströme innerhalb des definierten Systems integriert betrachten und in einer gemeinsamen Größenordnung integriert aufbereiten bzw. behandeln. In einem zweiten Schritt werden im Rahmen dieser Arbeit die Ergebnisse des Forschungsprojektes hinsichtlich ihrer Flexibilität gegenüber

rechtlichen und organisatorischen Rahmenbedingungen überprüft. Dafür wird der Einfluss der Einzelmodule auf die Größenempfehlung des Gesamtsystems in den Mittelpunkt der Betrachtung gestellt und folgenden Fragestellungen nachgegangen: Welchen Einfluss auf die Systemgröße haben die einzelnen Systemkomponenten? Verändert sich die empfehlenswerte Größenordnung des Gesamtsystems, wenn einzelne Komponenten des vollintegrierten Ansatzes aufgrund rechtlicher oder organisatorischer Vorgaben nicht realisiert werden können? Welchen Einfluss hat dies auf die intendierten Synergieeffekte des integrierten semizentralen Gesamtsystems?

1.3 Aufbau der Arbeit und Vorgehensweise

Für die Bearbeitung dieser Fragestellungen greift die vorliegende Arbeit den vollintegrierten semizentralen Ansatz auf und entwickelt ihn mittels eines raumwissenschaftlichen Modells weiter (vgl. Abbildung 1).

Teil A	Grundlagen
	<p>Infrastruktursituation in schnell wachsenden urbanen Räumen am Beispiel der V.R. China</p> <p>Theorie der Stadtentwicklung</p> <p>Räumliche Verteilung von Funktionen und Nutzungen</p>
Teil B	Vollintegrierte semizentrale Ver- und Entsorgungssysteme
	<p>Vollintegrierte Ver- und Entsorgungslösungen aus Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Abfallaufbereitung und -entsorgung</p> <p>→ Ressourceneinsparungen</p> <p>→ Kostenreduktionen durch größere Planungssicherheit</p>
Teil C	Flexibel integrierbare semizentrale Ver- und Entsorgungssysteme
	<p>Flexibilisierung des vollintegrierten Ansatzes</p> <p>Bestandssituationen (bestehende Kapazitäten der Ver- und Entsorgung, rechtliche Rahmenbedingungen etc.) machen angepasste Lösungen jenseits des vollintegrierten Ansatzes erforderlich</p> <p>Ermittlung empfehlenswerter Größenordnungen der Einzelmodule, entsprechend räumlicher Erfordernisse zu angepasstem System integrierbar</p> <p>Auswirkungen unterschiedlicher Entwicklungsszenarien</p> <p>Übertragbarkeit des Ansatzes</p>

Abbildung 1: Aufbau der Arbeit

Im Einzelnen gliedert sich die Arbeit in drei Teile: Der Grundlagenteil (Teil A, vgl. Kapitel 2) erarbeitet die wesentlichen Begriffe und Definitionen der Infrastrukturplanung, erläutert die Situation in der Volksrepublik China und stellt die Notwendigkeit des Forschungsansatzes ‚Semizentral‘ dar. Im Teil B (vgl. Kapitel 3) wird der im Rahmen des Forschungsprojektes „Semizentrale Ver- und Entsorgungssysteme für schnell wachsende urbane Räume Chinas“ entwickelte ‚vollintegrierte‘ Ansatz Semizentral dargestellt. Dieser umfasst grundsätzliche technische Möglichkeiten und zeigt potenzielle Synergieeffekte¹ integrierter Ver- und Entsor-

¹ Unter Synergie versteht man allgemein das Zusammenwirken verschiedener Kräfte, Stoffe oder Faktoren derart, dass die Gesamtwirkung größer ist als die Summe der Wirkung der Einzelkomponenten. Im wirtschaftlichen Sinne beschreibt Synergie das ökonomische Potenzial durch das Zusammenwirken verschiedener Produktionsfaktoren (Meyers Lexikon online 2009).

gungskonzepte auf und liefert eine erste Abschätzung empfehlenswerter Größenordnungen vollintegrierter semizentraler Ver- und Entsorgungssysteme.

Teil C erweitert den vollintegrierten Ansatz Semizentral um die raumwissenschaftliche Komponente, um eine verbesserte Anpassungsfähigkeit des Ansatzes an bestehende räumliche, strukturelle und organisatorische Rahmenbedingungen zu ermöglichen. Gegenstand der Berechnungen zur Untersuchung teilintegrierter semizentraler Systeme ist es, die im Rahmen der vollintegrierten Ansatzes empfohlenen Größenordnungen semizentraler Systeme entsprechend der zusätzlichen Anforderungen zu modifizieren bzw. zu verifizieren (vgl. Kapitel 4). Dies erfolgt, dem Prinzip der Zentralen Orte von Christaller folgend, mittels einer Größenoptimierung der Einzelmodule. **Ziel ist zu untersuchen, ob die empfehlenswerte Größenordnung für ein ‚vollintegriertes‘ System ebenso groß ist wie die für ein - an die lokalen Rahmenbedingungen angepasstes - ‚teil-integriertes‘ System.**

Ein vollintegriertes Ver- und Entsorgungssystem umfasst im Rahmen dieser Arbeit die integrierte Behandlung aller fünf systemimmanenten Stoffströme (Aufbereitung Trinkwasser zur Versorgung der Haushalte, Aufbereitung von Grauwasser zu Brauchwasser (ebenfalls zu Versorgungszwecken), Behandlung des Schwarzwassers sowie der anfallenden Klärschlamme und Abfälle) sowie die Optimierung der notwendigen Transportwege und Energieaufwendungen. Ein teilintegriertes Ver- und Entsorgungssystem muss dagegen nicht alle fünf Stoffströme umfassen, sondern integriert eine beliebige, für einen konkreten Anwendungsfall angepasste und sinnvolle Kombination von Stoffströmen zur Behandlung.

Die Untersuchung fokussiert zunächst die Situation in der Volksrepublik China. In einem zweiten Schritt werden die Anätze hinsichtlich ihrer Übertragbarkeit auf andere schnell wachsende urbane Räume untersucht und entsprechende Potenziale herausgearbeitet.

1.4 Grenzen der Untersuchung

Gegenstand des im Teil B beschriebenen BMBF-Forschungsansatzes ist die Entwicklung von Empfehlungen zur zukünftigen Sicherung der technischen Ver- und Entsorgungsinfrastruktur in Siedlungsneubaugebieten schnell wachsender urbaner Räume in China. Der im Teil C verfolgte Ansatz flexibler teil-integrierter semizentraler Systeme entwickelt den im Rahmen des Forschungsprojektes erarbeiteten ‚vollintegrierten‘ Ansatz fort und ermittelt empfehlenswerte Größenordnungen teilintegrierter semizentraler Systeme sowie deren Anfälligkeit gegenüber dynamischen Veränderungen.

Der Ansatzpunkt zur Entwicklung neuer Lösungsansätze liegt in den gegenwärtigen Raum- und Siedlungsstrukturen und den vorgegebenen Maßstäben und Me-

thoden in der Volksrepublik China. Eine Wertung dieser Rahmenbedingungen wird im Rahmen dieser Arbeit nicht vorgenommen. Das Planungssystem sowie die Art der Stadtentwicklung bieten (nicht nur) aus planerischer Sicht eine Vielzahl von Diskussions- und Kritikpunkten, die im Rahmen dieser Arbeit jedoch nicht thematisiert werden. Die vorliegende Arbeit greift die bestehenden Strukturen und Entwicklungen in den schnell wachsenden urbanen Räumen auf und entwickelt auf dieser Basis Empfehlungen zur zukünftigen Sicherung der technischen Ver- und Entsorgungsinfrastruktur – unter den gegebenen Rahmenbedingungen.

2 Grundlagen

Städte waren schon immer Anziehungspunkte.

Historische Stadtmauern schützten Städte nicht nur vor feindlichen Übergriffen, sondern auch vor Migration. Im antiken Rom wurden Kriege um Bürgerrechte geführt.

(Nowak 2007)

2.1 Schnell wachsende urbane Räume – neue Herausforderungen

Bis in die Gegenwart ist die Anziehungskraft von Städten zu spüren. Weltweit strömen die Menschen in die Städte. Die UN bezeichnen das 21. Jahrhundert als das „Jahrhundert der Städte“ (UN-HABITAT 2006). Im Jahr 2007 lebten erstmals weltweit mehr als 50% Menschen in urbanen Räumen, Tendenz stark steigend (Müller & Schmitz 2001). Im Jahr 2050, so Hochrechnungen der UN, wird der weltweite Anteil der Stadtbevölkerung bereits bei über $\frac{2}{3}$ – sechs Milliarden Menschen – liegen (Burdett & Rode 2007).

Der Verstädterungsgrad ist in den Industrieländern gegenwärtig zwar mit mehr als 75% deutlich höher als in den Entwicklungs- und Schwellenländern, wo die Mehrheit der Bevölkerung (noch) auf dem Land lebt. Aber insbesondere in Afrika und Asien ist der Verstädterungszuwachs im Zuge einer „nachholenden Urbanisierung“ und damit die Wachstumsrate der urbanen Bevölkerung am größten (Müller & Schmitz 2001 sowie Abbildung 2).

Urbanes Wachstum ist damit vor allem ein Phänomen der Entwicklungs- und Schwellenländer, deren wirtschaftliches Wachstum in den wachsenden urbanen Ballungsräumen stattfindet.² Während sich „Europa leert“ (spiegel online 2006), wachsen in Ländern auf dem asiatischen und afrikanischen Kontinent die Städte in nie da gewesener Geschwindigkeit; allein in den letzten 30 Jahren hat sich die städtische Bevölkerung in den Entwicklungsländern der Erde verdreifacht (Müller & Schmitz 2001).

Abbildung 2 veranschaulicht die Geschwindigkeit der urbanen Entwicklung weltweit. Die Werte in der Abbildung stehen für die Anzahl an Menschen, die bis zum Jahr 2015 in den jeweiligen urbanen Räumen **pro Stunde** hinzukommen (Burdett

² Die Vereinten Nationen prognostizieren, dass sich die Stadtbevölkerung in den Entwicklungsländern innerhalb der nächsten 30 Jahre von zwei auf vier Milliarden Menschen verdoppeln wird, während in den Industrieländern nur eine Steigerung von 0,9 Milliarden auf 1,0 Milliarden Menschen in den Städten erwartet wird (Cramer & Schmitz 2004).

& Rode 2007). Diese Dynamik der weltweiten Urbanisierung ist beispiellos – und mit ihr die sich daraus ergebenden Herausforderungen (vgl. Cramer & Schmitz 2004).



Abbildung 2: Die Dynamik urbanen Wachstums, Einwohnerzuwachs pro Stunde
(nach Burdett & Rode 2007)

Neben den ‚reinen‘ Bevölkerungszuwächsen hat auch der zunehmende weltwirtschaftliche Einfluss dazu geführt, dass das 21. Jahrhundert als das „Jahrhundert Chinas“ (Canzler et al. 2006) oder das „asiatische Jahrhundert“ (Kunzmann 2008) bezeichnet wird. Bei Zuwachsraten von 50 Einwohnern pro Stunde wie in Dhaka, Bangladesh (vgl. Abbildung 2) wächst die Stadt demnach um über 430.000 Menschen pro Jahr. Für Shanghai mit 32 und Guangzhou mit 23 (beide China) zusätzlichen Einwohnern pro Stunde ergeben sich damit Wachstumszahlen von 1.400.000 bzw. 1.000.000 Einwohnern binnen 5 Jahren.

2.2 Begriffsdefinitionen und Systemgrenzen

Im Folgenden werden wesentliche Begriffe entsprechend ihrer Auslegung und Anwendung in dieser Arbeit definiert.

Raum- und Siedlungsstrukturen

„Raumstrukturen eines Landes drücken den räumlichen Zusammenhang der Bevölkerung, der Arbeitsplätze und der Infrastruktureinrichtungen aus. Die Raumstruktur nimmt konkrete räumliche Gestalt dadurch an, dass Flächen für Wohnungen und Arbeitsstätten, für Straßen und Energieleitungen oder für andere Infrastruktureinrichtungen in Anspruch genommen werden. Als Siedlungsgebiete

bezeichnet man die gesamte bauliche Umwelt, die nach Lage, Größe, Bedeutung und Dichte unterschieden werden kann. (...) Raum- und Siedlungsstrukturentwicklungen stellen außerordentlich langfristige Prozesse dar, deren Veränderungen auch langfristiger Perspektiven bedarf.“ (BBR 2001)

Ressourcen

„Natürliche Ressourcen sind alle Bestandteile der Natur, die für den Menschen einen Nutzen stiften, sei es direkt durch ihren konsumtiven Ge- oder Verbrauch oder indirekt als Einsatzstoffe bei der Produktion von Sachgütern und Dienstleistungen (nicht-erneuerbare Rohstoffe, fossile Energieträger; erneuerbare, nachwachsende Rohstoffe; genetische Ressourcen; ständig fließende Ressourcenströme wie Sonnenenergie, Wind und Wasser; der Boden).“ (UBA 2008)

Funktionsfähigkeit der Städte sichern

„'Nachhaltige Stadtentwicklung' bedeutet, die Lebensqualität vor Ort zu verbessern und die Bedürfnisse der heute und in Zukunft lebenden Bevölkerung zu befriedigen, ohne dabei die aktuellen und zukünftigen Bedürfnisse der Personen in anderen Regionen einzuschränken. Neben dem Anspruch auf Selbstbestimmung tritt somit die globale Verantwortung von Stadt und Umland in den Vordergrund.“ (BMRBS 1996)

Aufgabe einer nachhaltigen Stadtentwicklung ist demnach die Anpassung der Siedlungsentwicklung und damit der Infrastruktur(en) an die „Erfordernisse ökologischer Verträglichkeit“ und die „Beachtung von ressourcensparenden, umweltschonenden und sich selbst regelnden Kreisläufen“ (BMRBS 1996; BBR 2001).

Um die baulich-räumlichen Voraussetzungen einer nachhaltigen Stadtentwicklung zu schaffen, ist auch die Stadtplanung gefordert: Die Mischung der verschiedenen städtischen Funktionen Wohnen, Arbeiten/Bildung, Erholung und Versorgung (vgl. Abbildung 3) spielen eine entscheidende Rolle. Je kleinteiliger die Funktionsmischung, desto geringer der zurückzulegende Weg, desto geringer der Verkehrsaufwand und damit einhergehend der Bedarf an Verkehrsinfrastruktur und Energiebedarf.

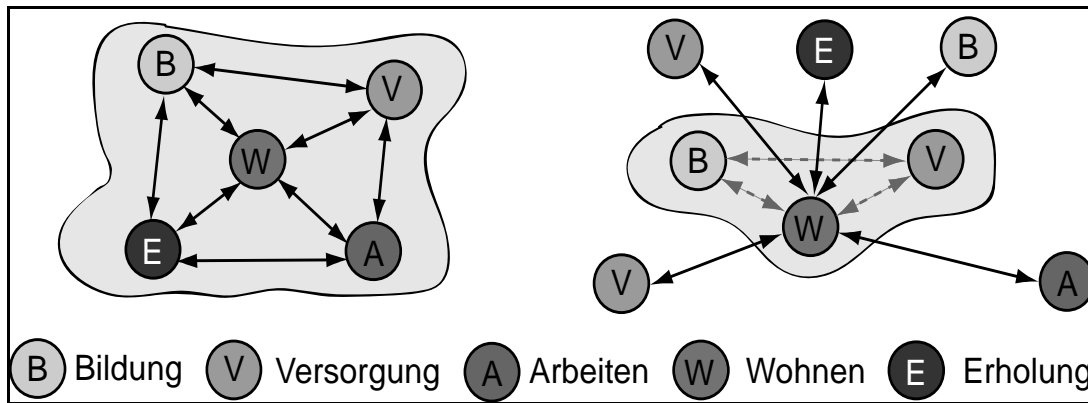


Abbildung 3: Prinzipien der Funktionsmischung bzw. -trennung (nach BMRBS 1996)

Komplementär zur stadtstrukturellen Entwicklung bieten ressourcensparende Ver- und Entsorgungslösungen Möglichkeiten, die Belastungen von Mensch und Umwelt in Städten und Agglomerationsräumen zu verringern.

Infrastruktur

Der aus dem militärischen Sprachgebrauch entlehnte Begriff bezeichnet in seiner ursprünglichen Bedeutung ortsfeste Einrichtungen der Logistik zur Distribution von Gütern und Dienstleistungen (Böhm 2004). Jochimsen (1966: 145) erweitert das Verständnis mit seiner Definition um immaterielle Bereiche und definiert Infrastruktur als **„die Gesamtheit der materiellen, institutionellen und personalen Anlagen, Einrichtungen und Gegebenheiten, die den Wirtschaftseinheiten im Rahmen einer arbeitsteiligen Wirtschaft zur Verfügung stehen“**.

Infrastruktur ist damit als Grundlage für wirtschaftliches Handeln definiert. In der Bundesrepublik Deutschland folgt §2 Abs. 2 Nr. 4 des Raumordnungsgesetzes (ROG) dieser Forderung und sichert die flächendeckende Grundversorgung mit technischer Infrastruktur. Dies gilt für alle Sektoren, angefangen mit der Wasserversorgung und der Abwasserreinigung, den Wasserbau und die Wasserwirtschaft über die Abfallentsorgung, den Verkehr und das Nachrichtenwesen bis hin zur Energieversorgung.

Grundsätzlich lassen sich verschiedene **Merkmale von Infrastruktur** definieren (vgl. Böhm 2004): Zu den typischen technischen Merkmalen gehören die Unteilbarkeit der Anlagen und die lange Lebensdauer sowie die Interdependenz zwischen den verschiedenen Systembestandteilen (vgl. *Infrastruktur als System*).

Aus diesen technischen Merkmalen resultieren verschiedene ökonomische Merkmale: Die Kostendegression verursacht eine spezifische Verringerung der Kosten großer Systeme (Jakubowski 2006; Günthert/ Reicherter 2001). Mit steigender Systemgröße steigt auch die Zahl der angeschlossenen Einheiten, deren spezifischer Bedarf – insbesondere für die lange Lebensdauer technischer Anlagen – nicht eindeutig definierbar ist und damit einen Risikofaktor für die Dimensionierung darstellt, der mit steigender Systemgröße zunimmt (Böhm 2004). Auch besteht im Re-

gelfall keine Möglichkeit eines Ausschlusses einzelner Nutzergruppen (Böhm 2004; Frey 2005), was die Prognoseunsicherheit zusätzlich verstärkt. Mit steigender Systemgröße erhöht sich somit auch das wirtschaftliche Risiko, da neben den genannten Unsicherheiten auch die absoluten Investitionskosten und damit die langfristige Kapitalbindung zunehmen. Die Wahl des Infrastruktursystems, seiner Größe und Ausgestaltung, ist daher mit ökonomischen Risiken verbunden, die gleichzeitig jedoch das Potenzial einer Steuerungsgröße für die langfristige Entwicklung lokaler wie regionaler Volkswirtschaften bieten.

Aus den ökonomischen Besonderheiten resultieren wiederum institutionelle Merkmale, die die politisch orientierten Entscheidungsmechanismen, die sich vielfach am Gemeinwohl und nicht am Markt orientieren und sich in Planung, Bereitstellung, Regulierung und Steuerfinanzierung ausdrücken (vgl. Frey 2005), umfassen.

Infrastruktursysteme

Gegenstand dieser Arbeit ist die technische Infrastruktur in den Sektoren der Wasserversorgung, der Abwasserreinigung und der Abfallentsorgung. Die Energieversorgung wird nicht als selbstständiger Sektor berücksichtigt, sondern fließt über die Systembilanzierung ein (vgl. Kapitel 3).

Grundsätzlich sind bei Infrastruktursystemen zwei verschiedene Ebenen zu unterscheiden: Das technische Ver- und Entsorgungssystem und dessen räumlicher Kontext, das Ver- und Entsorgungsgebiet (vgl. Abbildung 4). Gegenstand des Ver- und Entsorgungssystems sind seitens der materiellen Infrastruktur die technischen Anlagen der Trinkwasseraufbereitung, der Abwasserbehandlung und der Abfallbehandlung, die Distributionsinfrastruktur (Leitungs- und Kanalnetze sowie Transportfahrzeuge), Deponieflächen etc. Zur personellen Infrastruktur sind das Anlagenpersonal zu rechnen sowie weitere Personen in verschiedenen Institutionen, die für die Funktionsfähigkeit des Systems benötigt werden. Die institutionelle Infrastruktur umfasst die Organisationsstrukturen innerhalb des Systems, also Dienstpläne, Zuständigkeitszuordnungen, gesetzliche Vorgaben etc.

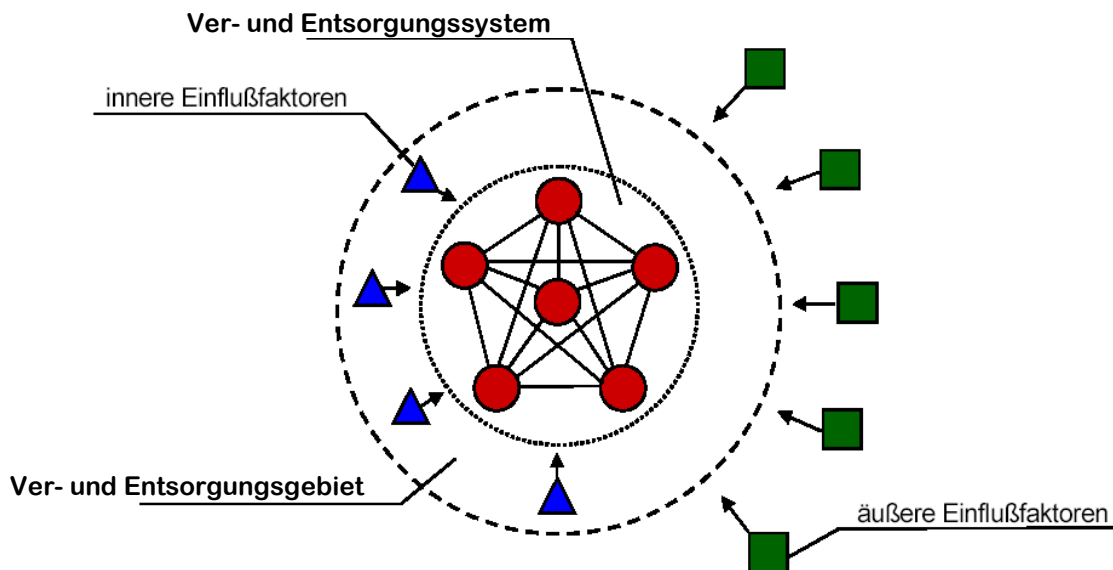


Abbildung 4: Komponenten und Einflussfaktoren von Infrastruktursystemen (nach Böhm 2004)

Die **inneren Einflussfaktoren** (vgl. Abbildung 4) beziehen sich auf den räumlichen Kontext des Infrastruktursystems. Hierbei spielen weitere Faktoren eine Rolle wie das Abwasser- und Abfallaufkommen, die Marktsituationen durch Konkurrenz, naturräumliche Gegebenheiten oder politische Interessen. Zu den **äußeren Einflussfaktoren** zählen übergeordnete Gesetzgebungen (durch EU, Bund und Länder) und Zielsetzungen ebenso wie technologische Entwicklungen und Möglichkeiten. (Böhm 2004)

2.2.1 Zentrale Ver- und Entsorgungssysteme

Der konventionelle zentrale Ansatz sieht eine Trennung der verschiedenen Stoffströme der Ver- und Entsorgung, Trinkwasser, Abwasser und Abfall vor. In Europa wurden diese Systeme Mitte des 19. Jahrhunderts zum Seuchenschutz eingeführt (vgl. Schmitt 2006). Die Sammlung von Abwässern in Kanalsystemen und die strikte räumliche Trennung von der Wassergewinnung wurde als wesentliche Maßnahme zur Eindämmung der großen Choleraepidemien des 19. Jahrhunderts identifiziert. Auch die Geschichte der Abfallwirtschaft ist eng an den Seuchenschutz gekoppelt. Bereits Anfang des 16. Jahrhunderts weist die „Pestordnung der Stadt Hamburg“ auf einen Zusammenhang zwischen Seuchen und Stadthygiene hin, zum Ende des 19. Jahrhunderts wurden die Stadtreinigungsaufgaben in die „Baudeputation“ eingegliedert (Tietz 2007). Bis zu gesetzlichen Regelungen und einem Stoffstrommanagement in der Abfallwirtschaft bedurfte es jedoch in Deutschland noch viele Jahrzehnte. Erst im Jahr 1972 trat mit dem AbfG die erste gesetzliche Regelung zur Abfallbehandlung in der Bundesrepublik in Kraft. Grundlegende Ziele der Kreislaufwirtschaft, wie sie gegenwärtig mit der Zielhie-

rarchie Vermeiden vor Verwerten vor Beseitigen im KrW/AbfG gegeben sind, wurden erstmalig im Jahr 1986 gesetzlich verankert. (Böhm 2001)

Neben hygienischen Aspekten sind auch Lärm- und Schadstoffemissionen Einflussfaktoren für die räumliche Trennung von Anfalls- und Behandlungsort, deren Vermeidung eine Zielebene des §1 (6) Nr. 7 BauGB darstellt. Verschiedene weitere konkurrierende Ziele sozialer, ökologischer und ökonomischer Natur, die ihrerseits grundsätzlich alle mit der gleichen Gewichtung gegeneinander abzuwägen sind (Kiepe & von Heyl 2004), führen zu Interessenskonflikten, für die Planung eine „Strategie zur Vermeidung (Ausräumung, zum Ausgleich) von Interessenskonflikten“ (Jäde et al. 2005) auf Basis des Abwägungsgebotes gemäß § 1 Abs. 7 BauGB entwickeln muss. Der Platzbedarf technischer Anlagen ist neben den Emissionen ein weiterer Faktor, der die Entscheidung zugunsten einer räumlichen Trennung von Behandlungsanlagen und Anfallort fördert. Außerhalb bebauter Gebiete sind die Bodenpreise in der Regel niedriger und somit auch die Investitionskosten für Behandlungsanlagen. Gleichzeitig sind die Anforderungen an Lärmschutz aufgrund fehlender sensibler Nutzungen im Umfeld geringer, was die Kosten wiederum – im Vergleich zu einer wohnortnahen Behandlung – verringert. Durch die Nähe zu Wohnbebauungen oder anderen zivilen städtischen Nutzungen steigen die Anforderungen an den Lärm- und Emissionsschutz von Behandlungsanlagen.

Auf Basis der dargelegten historischen Entwicklung orientiert sich die Definition von ‚zentralen Ver- und Entsorgungssystemen‘ dieser Arbeit an dem Verständnis von Rudolph (2004) und Wilderer (2004). Danach sind diese als klassische, sektoral getrennte Systeme der Ver- bzw. Entsorgung definiert. Als kennzeichnend für diese klassischen Systeme definiert die vorliegende Arbeit die Ver- bzw. Entsorgungsbereiche der Systeme als ganze Städte oder große Teile von Megastädten (vgl. Abbildung 5), die jeweils sektoral getrennt die Komponenten eines Ver- und Entsorgungssystems umfassen (vgl. Kapitel 2.2).

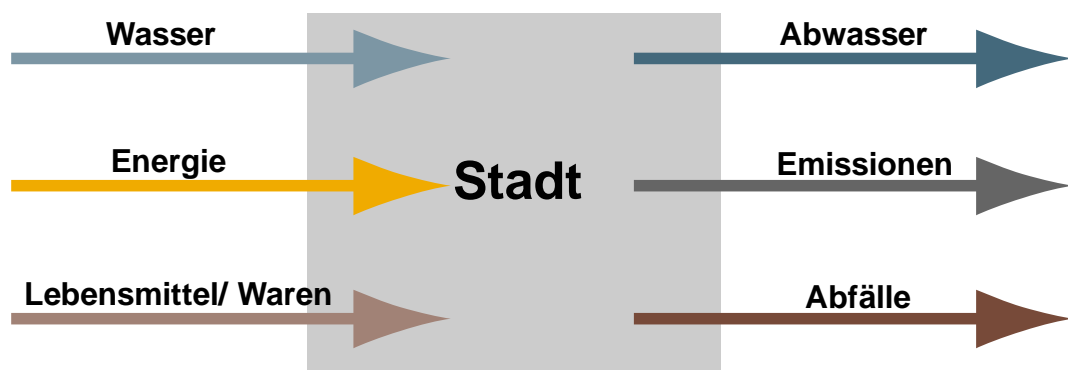


Abbildung 5: Konventionelles sektoriales Ver- und Entsorgungssystem (nach Weber et al. 2007)

Angesichts der Aufbereitung von Trinkwasser bzw. der Behandlung von Abwasser und Abfall außerhalb der Städte wird ein erheblicher Transportaufwand verursacht, der im Wassersektor zudem leitungsgebunden ist. Dieser führt dazu, dass große Sammelleitungen zunächst in die Städte bzw. hinaus gebaut werden müssen und ausgehend von den Hauptverteilern bzw. -sammelern zusätzliche Verteilsysteme erforderlich werden. Neben dem finanziellen Aufwand für das Leitungs- bzw. Kanalsystem an sich ist dies auch mit nicht unerheblichen Leitungsverlusten verbunden. Gleichzeitig wird eine Kreislaufführung von Sekundärrohstoffen ökonomisch wie ökologisch nahezu unmöglich, was im Trinkwasserbereich zu einem zusätzlichen Ressourcenverbrauch, im Abwasserbereich zu vermeidbaren Umweltbelastungen und im Abfallsektor zu einer schlechteren Ökobilanz zentraler Systeme im Vergleich zu kleineren Systemen mit geschlossenen Stoffkreisläufen führt (vgl. Berger et al. 2009).

Zentrale Ver- und Entsorgungssysteme in schnell wachsenden urbanen Räumen

Neben der begrenzten regionalen Ressourcenverfügbarkeit stellt sich ein weiteres Problem für zentrale Ver- und Entsorgungssysteme im Kontext schnell wachsender urbaner Räume: Eine Behandlungsanlage für eine Vielzahl von Menschen (bspw. mehrere Millionen Einwohner) benötigt in der Planungsphase eine erhebliche Planungssicherheit über den Einzugsbereich, die Besiedlungsdichte sowie die tatsächlich im Ausbauzustand zu ver- bzw. entsorgenden Einheiten. Trotz des gegenwärtigen Wachstums urbaner Räume sind Bevölkerungsprognosen über mehrere Millionen Einwohner, deren endgültige (oder zumindest durchschnittliche) Verteilung im Raum sowie die Zuzugsgeschwindigkeit für mehrere Jahre³ nur mit erheblichen Risiken und großen Unsicherheiten möglich. Hinzu kommt, dass das Kanal- bzw. Drucknetz eines zentralen Ver- bzw. Entsorgungssystems einen Großteil der Investitionskosten ausmacht und mit Verlegung in seiner kalkulierten Dimension festgelegt und damit keiner wesentlichen Veränderung mehr zugänglich ist. Angesichts der Größe und der damit verbundenen Unflexibilität, der Kostenbindung und der Unsicherheit hinsichtlich zukünftiger Auslastung(szenarien) zentraler Ver- bzw. Entsorgungssysteme auf der einen und der enormen Wachstumsdynamik der Städte mit Wanderungsbewegungen innerhalb der Städte⁴ und von außerhalb in die Städte auf der anderen Seite, wird der Bedarf alternativer Ver- und Entsorgungslösungen deutlich.

³ Selbst bei einer rechnerischen Größe von 1.000 Wohneinheiten (bei durchschnittlich 3,3 Einwohnern/ Wohneinheit), die täglich (!) in den Einzugsbereich einer 5-Millionen Einwohner entsorgenden Abwasserreinigungsanlage ziehen, dauerte es über 5 Jahre (365 Tage minus Sonntag minus 15 Feiertage), ehe die Anlage im Volllastbetrieb gefahren werden könnte (vgl. Kapitel 4.3.5, 'Dynamik').

⁴ Von einer kleineren in eine größere Wohnung

Als wesentliche Vorteile zentraler Systeme sind die größenbedingten spezifisch geringen Kosten bei gleichzeitiger Sicherung der hygienischen Verhältnisse im Siedlungsgebiet zu nennen, durch kontrollierte Aufbereitung bzw. Reinigung von Abwasser gewährleistet werden können (professioneller Betrieb) (Wilderer 2007; Cornel et al. 2004). Demgegenüber stehen Nachteile wie die hohen Kosten für den Bau der Leitungssysteme (Streese-Kleeberg et al. 2006), die Verdünnung des Abwasserstroms (Wilderer 2007) und die Mischung von Stoffströmen (Streese-Kleeberg et al. 2006; Otterpohl 2001), woraus eine erhebliche Erhöhung der zu behandelnden Menge resultiert (Wilderer & Paris 2001a). Der Einsatz von Trinkwasser als Transportmedium für Fäkalabfälle stellt einen weiteren ökologischen und ökonomischen Nachteil dar, ebenso wie die Vernichtung potenzieller Wertstoffe durch die Verdünnung relevanter Stoffströme (Wilderer 2007; Otterpohl 2001). Zusammenfassend ist der Bedarf alternativer Lösungsansätze zu den beschriebenen zentralen Strukturen für eine gesicherte und an die Rahmenbedingungen in der Volksrepublik China angepasste Ver- und Entsorgungsstruktur von erheblicher Bedeutung.

2.2.2 Dezentrale Ver- und Entsorgungssysteme

„Dezentraler Ver- und Entsorgungssysteme“ sind im Rahmen dieser Arbeit kleinräumige „Insellösungen“ auf Gebäudeebene, also Systeme, die lediglich „einzelne Wohnungs- oder Bebauungseinheiten berücksichtigen“ (BMBF 2006), definiert. Diese weisen im Vergleich zu zentralen Systemen eine deutlich geringere Kapitalbindung bei gleichzeitig höherer Systemtransparenz und Planungssicherheit auf und bieten Potenziale zur Nutzung lokaler Ressourcen.

Dezentrale Ver- und Entsorgungskonzepte bieten sich vor allem bei netzgebundenen Systemen in ländlichen Räumen mit geringer Einwohnerdichte an, da hier erhebliche Kosten für Kanal- und Druckleitungsnetze eingespart werden (Streese-Kleeberg et al. 2006), und so die Kosten für dezentrale Standorte von Behandlungseinheiten kompensieren können. Die hohe Eigenverantwortung für den Einzelnen hinsichtlich Betrieb und Wartung zur Sicherung der Funktionsfähigkeit der Systeme stellen dagegen einen deutlichen Nachteil und nicht unerhebliche Risiken gegenüber zentralen Systemen mit professionellem Betrieb dar (Sasse 1998). Dezentrale Abwasserbehandlungsanlagen besitzen aus diesem Grund meist eine einfache Technik, so dass eine Wasserwiederverwendung nahezu unmöglich ist (BMBF 2006).

Angesichts der Einwohnerdichten in den im Rahmen dieser Arbeit betrachteten schnell wachsenden urbanen Räumen muss die hygienisch einwandfreie Qualität des Trinkwassers auf der einen und die gesicherte Reinigung bzw. Behandlung

der Abwasser- und Abfallströme auf der anderen Seite gewährleistet sein. Dezentrale Systeme hingegen können zum gegenwärtigen Forschungsstand einen professionellen und gleichzeitig wirtschaftlichen Betrieb nicht gewährleisten (Cornel et al. 2004, Peter-Varbanets et al. 2009). Dadurch ist das Risiko von Epidemien wie Cholera oder Hepatitis A, die durch verunreinigtes Trinkwasser ausgelöst werden, mit dezentralen Systemen nicht grundsätzlich auszuschließen. Zudem muss aus Akzeptanzgründen die Versorgungssicherheit ohne Einschränkungen oder zusätzlichen Aufwand für den Nutzer gewährleistet werden können. Auch dies kann aufgrund der geringen Mengen innerhalb eines dezentralen Systems nur sehr eingeschränkt bzw. nicht gewährleistet werden.

Dezentrale Lösungen kommen daher als Lösungsansatz für alternative Infrastruktursysteme in schnell wachsenden urbanen Räumen im Rahmen der in dieser Arbeit zu beantwortenden Fragestellungen nicht in Betracht.

2.3 Die Situation in der Volksrepublik China

„Wenn China erwacht, wird die Welt erzittern.“

*Alain Pyrefitte, franz. Justizminister 1994
in Meyer-Bohe (2004)*

Die Bevölkerungsentwicklung in China ist von einer außergewöhnlichen Dynamik geprägt. Während 1990 noch rd. 1,12 Milliarden Menschen in der Volksrepublik China lebten (CIA 1990), sind es gegenwärtig bereits 1,33 Milliarden (CIA 2008). Dies entspricht einem landesweiten durchschnittlichen Bevölkerungswachstum von knapp 1% pro Jahr. Neben dem absoluten Bevölkerungswachstum ist die Entwicklung zudem von erheblichen Wanderungsbewegungen von ländlichen Räumen in die urbanen Zentren geprägt.



Abbildung 6: Die Volksrepublik China: wichtige Städte und Schwerpunkte urbanen Wachstums (CIA 2008)

Chinas Städte sind in dieser Hinsicht weltweit führend: ihre urbanen Räume weisen die größte Wachstumsdynamik auf (Kluge et al. 2008). Diese Wachstumsraten können sich im Bereich von 1.000 und mehr Einwohner/ Tag (Shanghai Statistical Bureau 2007) bewegen. Das Perlfloss-Delta (Region im Süd-Osten der Volksrepublik von HongKong über Shenzhen bis Guangzhou) weist bereits heute einen Verstädterungsgrad von über 70% auf (Taube et al. 2006). Auch andere Regionen in China, wie in der Shandong-Provinz im Nordosten des Landes, werden von politischer Seite in den kommenden Jahren vergleichbare Verstädterungsgrade angestrebt (Bi 2004).

2.3.1 Auswirkungen auf die Umwelt

Neben seiner räumlichen Größe und der großen absoluten Bevölkerungszahl übersteigt die Entwicklung in China vor allem in der Dynamik der Veränderungen (Kaltenbrunner 2008, Kraas & Nitschke 2008) alle bisherigen Entwicklungen und Maßstäbe. Meyer-Bohe (2004) beschreibt die Auswirkungen dieser Entwicklungen für die Stadt Shanghai so: „800 Tonnen Kohlenstaub pro Tag und monatlich rund 100 Tonnen Straßenstaub, die rund 6.000 Smog-Tote fordern. Vier Millionen Kubikmeter Abwässer wandern täglich in die Flüsse – davon gerade einmal 8 Prozent geklärt“, was einer täglichen ungeklärten Abwassermenge von 3,8 Mio. Kubikmetern entspricht.

Parallel zum Bevölkerungswachstum verläuft ein weiterer Prozess in den urbanen Zentren der Volksrepublik China, der die strukturelle räumliche Entwicklung der

schnell wachsenden urbanen Räume maßgeblich mitprägt und den Bedarf an neuem Wohnraum zusätzlich verschärft: die Entwicklung der Wohnflächen pro Kopf. Während im Jahr 1953 in Beijing durchschnittlich unter 5m² Wohnraum pro Person zur Verfügung standen (Lü et al. 2001, Bähr & Jürgens 2005), ist dieser Wert auf durchschnittlich 25m² (Stand 2004, Information Technology Associates 2008) angestiegen. In Shanghai mit seiner Vorreiterrolle als Wirtschaftsmetropole sind es durchschnittlich 15m² pro Person (Meyer-Bohe 2004). Übertragen auf die schnell wachsenden urbanen Räume, den steigenden Wohlstand großer Teile der dort lebenden Bevölkerung und deren Ansprüche an Wohnraum, liegt die durchschnittliche Wohnungsgröße in den betrachteten Entwicklungsgebieten für eine 3- bis 4-köpfige Familie (Mehrgenerationen-Wohnen) bei 90m² (Bi 2004) und damit deutlich über diesem Wert. Die Dynamik dieser Entwicklung bedurfte schneller, ‚kopierbarer‘ Lösungen, so dass viele Wohngebiete in den letzten 10 bis 15 Jahren „hochstandardisiert“ (Ipsen 2004) geplant und realisiert wurden (vgl. auch Bähr & Jürgens 2005). Allein in der Zeit von 2001 bis 2006 entstanden unter einer intensiven Förderpolitik der chinesischen Regierung mehr als 20 Millionen Wohneinheiten (UN-HABITAT 2006).

Die Öffnungs- und Reformpolitik war ein wesentlicher Motor dieser Entwicklung. Zur Attraktivitätssteigerung für ausländische Investitionen wurden neue Stadtviertel oder ganze Städte errichtet, deren wesentliche Strukturelemente nach Taubmann [1993 *zitiert nach* Bähr 2005] u.a. die „funktionale Mischung von Wohnen, Arbeiten und Versorgen“ sowie die weniger dichte Bebauung waren. Die städtebauliche Realität ist dagegen geprägt durch eine klare Funktionstrennung (Schönharting et al. 2007; Bähr & Jürgens 2005, Speer & Kornmann 2001), vergleichbar mit der Entwicklung in Europa in den Zeiten der Industrialisierung (Lichtenberger 1986).

Das staatlich forcierte Wachstum der urbanen Räume Chinas (UN-HABITAT 2006) und dabei vor allem die Geschwindigkeit der Entwicklung, die städtebauliche Ausprägung des Wachstums, die räumliche Trennung von Wohnen und Arbeiten und die hohen Bevölkerungsdichten in den urbanen Zentren führen zu erheblichen Umweltbelastungen. Neben Emissionen durch Industrie, Energieerzeugung und hohem Verkehrsaufkommen stellt der Ressourcenverbrauch die Städte vor große Herausforderungen. Die lokalen oder regionalen Ressourcen reichen in der Regel nicht einmal für die Basisversorgung der Bevölkerung mit Wasser und Energie aus. Stattdessen müssen deutlich größere Einzugsbereiche zur Ressourcenversorgung beitragen. Dies hat zur Folge, dass Umweltschäden aufgrund zu hoher Wasserentnahmen (Grundwasserabsenkungen, Versalzung, Vegetationsverlust etc.) nicht nur in und um die Millionenstädte erfolgen, sondern die gesamten

Wasserförderregionen betreffen. Diese Entwicklungen sind insbesondere aufgrund ihrer Wirkungen auf die Umwelt und der damit einhergehenden Bedrohung der Lebensqualität bedenklich, da die zunehmende Flächeninanspruchnahme und steigende Emissionsbelastungen die Qualität der natürlichen Ressourcen und damit nicht zuletzt auch der Lebensqualität in den Städten gefährden (BBR 2001).

Auf die Volksrepublik China übertragen bedeutet ein konventioneller zentraler Ansatz in hochverdichteten urbanen Räumen – wie sie an der Ostküste, d.h. in den schnell wachsenden urbanen Räumen des Landes den Durchschnitt darstellen – nicht automatisch die Ver- und Entsorgung einer ganzen Stadt, sondern vielmehr großer Teile davon. Diese ‚großen Teile‘ umfassen dabei im Bereich der Abwasserreinigung Anlagengrößen von vielen Hunderttausend bis hin zu mehreren Millionen angeschlossenen Einheiten. Im Bereich der Wasserversorgung stellen sich die Auswirkungen noch deutlicher dar: Die Wasserressourcen der Ostküste der Volksrepublik sind nicht ausreichend für den Bedarf der dortigen Bevölkerung und Industrie. Laut Worldbank (2007) hat der Wasserbedarf in den urbanen Räumen zwischen 1978 und 2007 um 500% zugenommen und regional verfügbare Vorkommen können lediglich 1/5 dieses Bedarfs decken. Bereits 1995 galten 400 der 514 größten Städte Chinas als Wassermangelgebiete, 100 davon mit akutem Wassermangel (Worldbank 2007). Die stark steigenden Bevölkerungszahlen in den Verdichtungsräumen verschärfen diese Entwicklung weiter. Nicht unerhebliche Teile der Trink- bzw. Leitungswasserversorgung des Landes müssen über bis zu mehr tausend Kilometer lange Transportleitungen (Karl 2004; Wilderer & Paris 2001b; Biswas 1982)⁵ sichergestellt werden. Auswirkungen des Klimawandels forcieren die Situation zudem: Der stark ansteigende Meeresspiegel⁶ führt zu neuen Herausforderungen im Hochwasserschutz, da Überschwemmungsgebiete fehlen und die Rückhaltefähigkeit der Böden zunehmend eingeschränkt ist. Die Vulnerabilität gegenüber Extremwetterereignissen der Küstenregionen wird mit dem Klimawandel erheblich zunehmen. Zudem führt der steigende Meeresspiegel zu einer vermehrten Versalzung von Grundwasserressourcen, was wiederum die Wasserknappheit an den Küsten verstärkt.

⁵ Biswas (1982) unterscheidet drei Haupttransportwege: Die „Western Route“, die „Middle Route“ und die „Eastern Route“. Die Middle und Eastern Route erstrecken sich über eine Länge von 1.265 km bzw. 1.150 km von den „Huan-Hai-Plains“ im Norden Chinas nach Osten bzw. nach Süden und transportieren täglich über 30 Millionen m³ bzw. knapp 3 Millionen m³ Wasser zur Versorgung der dortigen Wassermangelgebiete.

⁶ In den vergangenen einhundert Jahren ist der Meeresspiegel „global mindestens 10 m gestiegen“ (Lau 2004 *nach* Nicholls 2003), an den chinesischen Küsten liegt dieser laut Ju (1998 *nach* Zhou et al. 1992) bei über 11 m. Berechnungen der IPCC (2001b) zufolge ist im 21. Jahrhundert global mit einem weiteren Anstieg um bis zu 88 m zu rechnen.

Die Abfallbehandlung rückte in vielen Städten Chinas erst in den letzten Jahren in den Blickpunkt des Interesses, eine geordnete Abfallwirtschaft existiert bislang nicht (Läpple 2007). Grundsätzlich besteht in diesem Bereich erheblicher Nachholbedarf, noch heute werden große Teile (um 95%) der häuslichen Abfälle in China unbehandelt abgelagert, vielfach noch auf ungesicherten Deponien (Läpple 2007). In den schnell wachsenden urbanen Räumen kommt es durch die steigenden Mengen vermehrt zu Flächenengpässen für die Deponierung (BMBF 2005). Insbesondere aufgrund des hohen Organikanteils der Abfälle (Läpple 2007; Rohde 2007) steigt die Gasbildungsmenge und damit auch die Gefährdung der Standfestigkeit des Deponiekörpers, das Risiko von Bränden, Explosionen und Geruchsbelästigungen sowie die Emission von treibhauswirksamem Methan (CH_4). Laut dem Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) übt Methan, bezogen auf einen 100-jährigen Zeithorizont, eine 23fach höhere Klimaschädigungen aus als CO_2 (IPCC 2001a). Mit einem weltweiten Anteil von 10% bis 26% der anthropogenen Methanemissionsquellen (IPCC 2007) stellen Deponien demnach eine der bedeutendsten Quellen klimaschädlichen Methans dar (Berger 2008). Zudem liegt der Platzbedarf unbehandelter Abfälle auf Deponien zwischen 30% bis 60% höher als der vorbehandelter Abfälle (vgl. Ehrig et al. 1998).

Die aus der Infrastruktursituation insgesamt resultierenden Effekte für die Umwelt sind insbesondere an der Ostküste Chinas spürbar und sichtbar, wo die Verunreinigungen des Meeres die Standorte von Aquakulturen und Gebiete der Meeresforschung bedrohen (Läpple 2007), die Qualität der Oberflächengewässer durch erhebliche Übernutzung laut Worldbank (2007) als „bedenklich“ und die Grundwasserabsenkungen als „bedrohlich“ einzustufen sind, während gleichzeitig die Versalzung der Böden schnell voranschreitet. Zudem gehen von der steigenden Anzahl von Abfalldeponien ein erhebliches Gefährdungs- und Belästigungspotenzial für Arbeiter und Anwohner aus.

Ein weiterer Stoffstrom zur Entsorgung stellt derzeit eine große Herausforderung dar: Der bei der Abwasserreinigung entstehende Klärschlamm. Da keine speziellen Vorgaben zur Behandlung von Klärschlamm existierten, wurden Klärschlämme über Jahre ohne grundlegende Vorbehandlung deponiert. Dies führte zu erheblichen Geruchsemissionen und Stabilitätsproblemen und verkürzte die Laufzeiten der Deponien deutlich (BfAi 2007). Der aktuelle 11. Fünfjahresplan (2006 bis 2010) sieht eine Erhöhung der Klärquote von derzeit 57% auf 70% in den großen Städten bis zum Jahr 2010 vor. Durch die steigenden Reinigungskapazitäten in der Volksrepublik werden immer größere Mengen Abwasser geklärt – und mit ihnen

steigt die zu entsorgende Klärschlammmenge erheblich an⁷. Im Rahmen des bilateralen Umweltdialogs und der finanziellen Entwicklungszusammenarbeit berichteten Experten auf einer Fachveranstaltung über die Situation: „Da man nicht wisse, wohin mit dem Klärschlamm, würden ihn einige Betreiber bereits auf dem eigenen Gelände zwischenlagern. Aus der ursprünglich temporären Lösung sei in vielen Fällen längst eine Dauereinrichtung geworden. Einige Kläranlagen hätten deshalb den Betrieb bereits eingestellt; andere, in Küstennähe gelegen, würden den Schlamm im Meer verklappen“ (BfAi 2007). Angesichts der Klimawirkung von Methangas und der Schwierigkeit der Gasfassung auf Deponien – 40% bis 50% des entstehenden Deponiegases entweicht trotz effizienter Fassungssysteme diffus (Berger et al. 2009) – spielt die Vorbehandlung von Abfällen und Klärschlämmen vor der Deponierung auch vor dem Hintergrund des Klimawandels eine wichtige Rolle.

Umweltgesetzgebung in der Volksrepublik China

Die dargestellte Umweltsituation lässt auf fehlende oder schwache gesetzliche Vorgaben in der Volksrepublik schließen. Das Gegenteil ist der Fall: Laut Hirn (2006) verfügt China sogar über eine „sehr fortschrittliche und zeitgemäße Umweltgesetzgebung“. Das heutige Umweltgesetzbuch wurde 1979 verabschiedet und im Jahr 1989 novelliert. Bis in die Gegenwart wurde eine Fülle weiterer Gesetze, Standards und Regelungen ergänzt, deren schnelle Einführung zu einer Landschaft „widersprüchliche[r] bzw. nicht aufeinander abgestimmte[r] Vorschriften“ (Suding 2006) führte. Eines dieser Gesetze ist das zum 1.1.2003 in Kraft getretene „Law on the Promotion of Cleaner Production“, das zur Etablierung einer Kreislaufwirtschaft beitragen soll, wesentliche Anforderungen an die Entwicklung einer Kreislaufwirtschaft (bspw. Möglichkeiten zur Sicherung einer schadlosen Verwertung bzw. Verfahren zur Überprüfung der festgelegten Anforderungen einzuführen bzw. Möglichkeiten zur Einführung von Pflichten nach §7 KrW/AbfG) jedoch vermissen lässt (Läpple 2007).

Neben der unübersichtlichen Situation in der Gesetzgebung lässt sich die beschriebene schwierige Umweltsituation vor allem auf eine mangelhafte Umsetzung gesetzlicher Vorgaben zurückführen (Läpple 2007). Unternehmen könnten zwar für Verstöße gegen Umweltschutzbestimmungen haftbar gemacht werden, die Strafen seien jedoch nicht sehr weit reichend. Im Regelfall würden Verwaltungsstrafen wie Bußgelder oder Verwarnungen verhängt, die für Industriebetriebe und Firmen wenig abschreckend wirken: Selbst in der Wirtschaftsmetropole Shanghai müssten Unternehmen bei Verstößen gegen Umweltauflagen im Abfall-

⁷ Weitere Details zu der Situation in verschiedenen großen Städten und Regionen der V.R. China in KfW (2007).

sektor mit Bußgeldern von nicht mehr als 10.000 € rechnen. Hirn (2006) führt den mangelhaften Vollzug auf die Organisations- und Verwaltungsstrukturen der Umweltbehörden zurück. Die State Environmental Protection Agency (SEPA) verfüge über zu wenig Personal, um eine effiziente Kontrolle gewährleisten zu können. Auch würden lokale ausführende Stellen der SEPA zum Teil divergierende Interessen vertreten können, da sie über weit reichende Kompetenzen in der Festlegung lokaler Grenzwerte verfügten, die nicht zwangsläufig denen der übergeordneten Behörde folgen müssten.

2.3.2 Auswirkungen auf die technische Infrastruktur

Aus den beschriebenen Zuwachsraten resultieren vielfältige Probleme in den Städten, u.a. sozialer, organisatorischer, ökologischer aber auch technischer Art. Einen Bereich dieser technischen Herausforderungen stellt die Ver- und Entsorgung der Menschen dar, explizit die Versorgung mit (Trink-)Wasser und Energie, und die Sicherung der Entsorgung der Abwasser- und Abfallströme. Die hohen Dichten oder vielmehr die Vielzahl der auf engstem Raum lebenden Menschen übersteigt, wie dargestellt, in aller Regel die lokalen bzw. regionalen Ressourcen. So ist die Sicherung der Wasserversorgung in Millionenstädten vielfach nur zu sichern, indem das Wasser über weite Distanzen in die Millionenstädte transportiert wird (vgl. Kapitel 2.3.1) und dadurch die Raumwirkungen der Wasserversorgung weit über die Grenzen des Verdichtungsraums hinaus reichen (Tietz 2007). Verschärft wird diese Entwicklung durch die mangelhafte Planung und Entwicklung der Infrastruktursysteme, die dem schnellen Wachstum nicht mehr Stand halten können (UN-HABITAT 2006). Die Auswirkungen der massiven Urbanisierung auf die Infrastruktur sind erheblich: Alleine in Asien besteht ein (rechnerischer) Bedarf täglich für 320.000 Menschen zusätzlich technische Ver- und Entsorgungssysteme zur Verfügung zu stellen (WHO 2000).

2.3.3 Wasserbedarf sowie Abwasser- und Abfallaufkommen privater Haushalte in der Volksrepublik China

„Art und Maß der Ver- und Entsorgungsleistungen [für ein Siedlungsgebiet] hängen von der Anzahl der Personen und Einrichtungen sowie deren Verteilung im Raum (...) ab“ (Tietz 2007). Bedarf und Aufkommen sind dabei sowohl abhängig von der Dichte eines Gebietes als auch von der Nutzungsstruktur (Funktionsmischung oder -trennung, vgl. Kapitel 2.4). Gewerbliche Nutzungen haben individuell verschiedene und im Vergleich zu privaten Haushalten einen deutlich höheren Bedarf bzw. ein höheres Aufkommen mit i.d.R. erhöhten Belastungen.

Wasserbedarf

Der Wasserbedarf eines privaten Haushaltes lässt sich in verschiedene Nutzungszwecke einteilen. Von insgesamt 109 Litern Tagesverbrauch pro Person⁸ werden 33 Liter, also fast ein Drittel, zur Toilettenspülung verwendet (vgl. Abbildung 7). Weitere große Teile des Tageswasserbedarfs entfallen auf die Körperpflege mit 33 Litern und den Bedarf in der Küche mit 25 Litern. Vergleichbar geringe Mengen werden zum Wäschewaschen, zu anderen Reinigungszwecken und zur Bewässerung aufgewendet. Die durchschnittliche Menge von 3 Litern pro Person und Tag, die als Nahrungsmittel eingesetzt wird, wird in den urbanen Zentren Chinas i.d.R. nicht über die Wasserversorgung, sondern über ‚bottled water‘ gedeckt.⁹

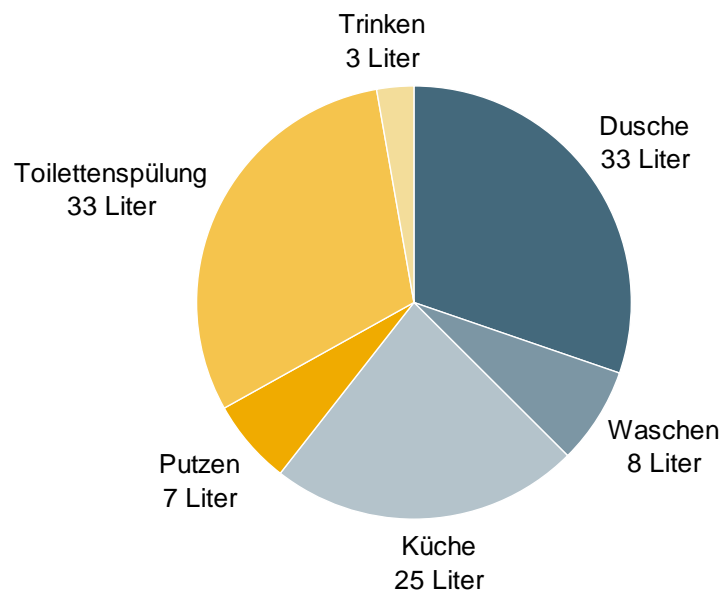


Abbildung 7: Wasserbedarfsmengen der Stadt Qingdao, Provinz Shandong, Volksrepublik China [$l/(EW \cdot d)$] (nach BMBF 2006)

⁸ Dieser Bedarfswert bezieht sich auf die Stadt Qingdao in der Provinz Shandong der Volksrepublik China. Da die Modellentwicklung am Beispiel der V.R. China erfolgt und für die Stadt Qingdao verlässliche Bedarfs- und Anfallwerte vorliegen, welche mit dem durchschnittlichen Verbrauch in großen Städten an der Ostküste Chinas übereinstimmen, werden diese der Modellierung zugrunde gelegt (vgl. BMBF 2006).

⁹ Grundsätzlich wird aus Sicherheitsgründen eine nicht-zentrale Aufbereitung und Versorgung mit Leitungswasser seitens der chinesischen Regierung (zumindest für die Ballungsräume des Landes) abgelehnt, so dass eine semizentrale Wasserversorgung aus rechtlichen bzw. politischen Gründen zum gegenwärtigen Zeitpunkt nicht durchsetzbar wäre (vgl. BMBF 2006 und 2009). Um dem Anspruch der Übertragbarkeit der Forschungsergebnisse ‚Semizentral‘ aus der Volksrepublik China auf andere urbane Regionen mit vergleichbaren Wachstumsraten gerecht werden zu können, wird die Wasserversorgung weiterhin als Teil der Ver- und Entsorgung im vorliegenden Kontext berücksichtigt.

Abwasseraufkommen

Entsprechend des Wasserbedarfs setzt sich der Abwasseranfall zusammen. Dabei kann zwischen verschiedenen Fraktionen unterschieden werden, die bei der Aufbereitung unterschiedlichen Aufwand erforderlich machen.

Die DIN 4045 (DIN 4045:2003-08 2003) unterscheidet dabei „Grauwasser“ und „Schwarzwasser“. Als Grauwasser wird häusliches Abwasser ohne fäkale Feststoffe definiert, also die Abwasserströme Duschwasser, Abläufe aus Handwaschbecken und Waschmaschinen und Küchenabläufe. Schwarzwasser bezeichnet demgegenüber den verbliebenen Abwasserstrom mit Fäkalienanteilen aus häuslichem Toilettenabwasser.

Abfallaufkommen

Eine umweltgerechte, am Leitbild der Kreislaufwirtschaft orientierte Abfallwirtschaft ist in der Volksrepublik China erst im Entstehen. Neben unzureichenden oder fehlenden Behandlungskapazitäten für die anfallenden häuslichen Abfälle äußert sich dies auch durch fehlende statistische Erhebungen zur Zusammensetzung der Abfälle. Rohde (2007) führte im Jahr 2006 Erhebungen in zwei Städten an der Ostküste Chinas durch, in Qingdao und in Shanghai. Auf diese Erhebungen stützen sich die nachfolgenden Angaben zum Abfallaufkommen in der Volksrepublik China.

Aufgrund des geringeren Konsums auf der einen und informeller Sammlungen¹⁰ auf der anderen Seite, ist der Wertstoffanteil im Vergleich zum Anteil in der Bundesrepublik Deutschland erheblich reduziert (Rohde 2007). Der überwiegende Teil häuslicher Abfälle zur Beseitigung – dieser Anteil liegt bei ca. 0,9kg/ Einwohner und Tag - besteht aus organischen Anteilen, die in der Volksrepublik China (noch) i.d.R. unbehandelt deponiert werden. Dieser hohe organische Anteil führt ohne Vorbehandlung zu Problemen im Deponiebetrieb durch Setzungs- und Gasbildungsprozesse. Die anfallende Abfallmenge eines privaten Haushaltes in Qingdao, Volksrepublik China, setzt sich durchschnittlich aus den in Abbildung 8 dargestellten Fraktionen zusammen:

¹⁰ Neben den kommunalen Sammelsystemen, die im täglichen bis wöchentlichen Turnus Bioabfälle und Restabfälle getrennt voneinander in den Wohngebieten sammeln und einer Entsorgung zuführen, finden in den Ballungsräumen der Ostküste Chinas nahezu flächendeckend sog. informelle Sammlungen statt: Private Händler kaufen direkt von den Haushalten Wertstoffe wie Papier und Pappen, Metalle und Kunststoffe und bringen diese zu Umschlagstationen, wo sie weiterverkauft und einer Wiederverwendung bzw. Recycling zugeführt werden. (vgl. Läpple 2007).

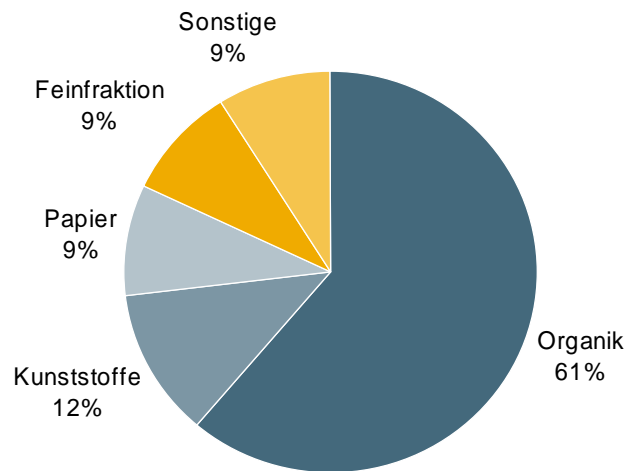


Abbildung 8: Durchschnittliche Abfallzusammensetzung privater Haushalte in der Volksrepublik China, am Beispiel der Städte Shanghai und Qingdao (nach Rohde 2007)

2.4 Zwischenfazit: Neue Herausforderungen urbanen Wachstums

Wie in Kapitel 1 dargestellt, stellt vor allem die Geschwindigkeit der Urbanisierung in Schwellen- und Transformationsländern neue Anforderungen an die Infrastruktursysteme. Etablierte zentrale Lösungen stoßen ebenso an ihre Grenzen wie alternative kleinteilige, so genannte dezentrale Ansätze.

Zusammenfassend sind folgende Faktoren bei der Entwicklung alternativer Lösungen für Infrastruktursysteme, die diesen Anforderungen gerecht werden können, zu berücksichtigen:

Zentrale Systeme bieten einen hohen Sicherheitsstandard in der Aufbereitung ohne spezifische Verantwortung für den Nutzer des Systems; die Wartung und fachliche Betreuung der Anlagen liegt in professioneller Hand. Gleichzeitig bieten zentrale Systeme Potenzial zur Rückgewinnung von Ressourcen aus Abwässern und Abfällen. Hierzu ist vielfach ein hoher technischer Standard erforderlich, der auf dezentraler Ebene nicht oder nur zu erheblich höheren spezifischen Kosten realisierbar ist. Dagegen sind die Möglichkeiten der Wasserwiederverwendung in zentralen Systemen sehr eingeschränkt: Die Distanzen zwischen dem Anfallort des Abwassers und dem Ort der (Wieder-)Aufbereitung innerhalb klassischer zentraler Systemgrößen sind aufgrund der Transportdistanzen weder aus ökonomischen noch aus ökologischen Gesichtspunkten empfehlenswert. Zudem verursacht das große Transport- bzw. Drucknetz hohe Investitions- und Unterhaltungskosten. Die dadurch verursachte hohe Wertfixierung und Unflexibilität stellen ein nicht unerhebliches Risiko mit weit reichenden zeitlichen Wirkungen bzgl. der geplanten räumlichen Entwicklung und Auslastung des Systems dar (vgl. networks o.J. sowie BBR 2001).

Demgegenüber ist die Auslastung bei dezentralen Systemen ein klarer Vorteil: durch die Kleinräumigkeit und die geringe Zahl angeschlossener Einheiten ist der Planungs- und Realisierungshorizont kurz und entsprechend hoch ist die Verlässlichkeit der Planung. Hinsichtlich der Ressourceneffizienz können jedoch aufgrund des nicht-professionellen Betriebs bzw. der erheblichen Kosten für einen professionellen Betrieb auf dezentraler Ebene und der damit nicht zu garantierenden hygienisch einwandfreien Aufbereitung weder eine Rückgewinnung von Nährstoffen noch eine Wiederverwendung häuslichen Abwassers als Brauchwasser im Kontext schnell wachsender urbaner Räume empfohlen werden. Zudem könnte aufgrund der geringen Systemgröße eine durchgängige Versorgung mit Brauchwasser (anstelle von Trinkwasser) nicht gewährleistet werden.

Die Ausführungen machen deutlich, dass beide Ansätze den eingangs formulierten Anforderungen nicht gerecht werden. Beide Ansätze weisen u.a. durch den sektoralen Ansatz erhebliche Defizite im Bereich der Ressourcenschonung auf, explizit im Bereich der Wassereinsparung durch Wiederverwendung. Zudem liefern beide Ansätze keine Antworten auf die Frage der Klärschlamm Entsorgung, die, wie in Kapitel 2.2.1 dargestellt, einen akuten Handlungsbedarf in der Volksrepublik China (und in anderen Schwellenländern mit schnell wachsenden urbanen Räumen) darstellt. Durch die vielerorts fehlenden Abfallbehandlungskapazitäten ergibt sich neben akutem Handlungsbedarf die Chance, traditionelle Wege zu verlassen und neue Lösungsansätze im Sinne einer Kreislaufwirtschaft in Betracht zu ziehen.

Der Ansatz semizentraler Ver- und Entsorgungssysteme greift diese Herausforderungen auf und entwickelt Lösungen, um den Herausforderungen der Ressourcenknappheit auf der einen und dem dynamischen Siedlungswachstum auf der anderen Seite erfolgreich zu begegnen.

2.5 Raumwissenschaftliche Grundlagen

Eine umfassende Theorie der Stadtentwicklung bzw. der räumlichen Ordnung von Wirtschaft und Gesellschaft ist bis heute nicht erstellt worden. So existieren verschiedene erklärungs- und theoretische Ansätze unterschiedlicher Disziplinen. Vielfach steht dabei die wirtschaftliche Entwicklung des Raumes im Vordergrund (Holz 1994). Die Raumwirtschaftstheorie unterscheidet grundsätzlich drei Gruppen von Theorien: Ökonomische Standorttheorien, räumliche Mobilitätstheorien sowie räumliche Wachstums- und Entwicklungstheorien (vgl. Schätzl 2001; Heineberg 2000). Letztere fokussieren die räumliche Differenzierung von Wachstums- und Entwicklungsprozessen, während räumliche Mobilitätstheorien die Ursachen und Wirkungen räumlicher Interaktionen zu erklären versuchen (Schätzl 2001). Die dritte Gruppe, die Standorttheorien, konzentrieren sich auf die Struktur des Raumes, auf die räumliche Verteilung und Verortung von Funktionen und Nutzungen. Diese lassen sich laut Schätzl (2001) in ‚Theorien der unternehmerischen Standortwahl‘ (Einzelwirtschaftliche Betrachtung) und ‚Standortstrukturtheorien‘ (Gesamtwirtschaftliche Betrachtung) untergliedern. Gegenstand der unternehmerischen Standortwahltheorie ist die Ermittlung des optimalen Standortes für ein Unternehmen im Raum. Für die Raumwissenschaft und den Kontext dieser Arbeit ist demgegenüber die Frage nach der optimalen Verteilung aller volkswirtschaftlichen Aktivitäten, also der Allokation von Funktionen und Nutzungen im Raum von deutlich größerer Bedeutung. Dieser Frage gehen bspw. die Standortstrukturtheorien von Johann Heinrich von Thünen und Walter Christaller nach.

Das Bodenrentenmodell von J.H. von Thünen wurde im Jahr 1875 unter dem Titel ‚Der isolierte Staat in Beziehung auf Landwirtschaft und Nationalökonomie‘ veröffentlicht. Es geht der „Grundfrage der Standortlehre nach, inwieweit ökonomische Gesetzmäßigkeiten zur Herausbildung optimaler räumlicher Strukturen der Bodennutzung führen“ (Schätzl 2001). Aufgrund ihres Fokus auf das Verhältnis von Zentrum und Peripherie und der Auswirkungen der Transportaufwendungen zwischen Stadt und Land mit den damit verbundenen Folgen für die Lagerrente des Bodens (vgl. ARL 2005), wird die Theorie von J.H. Thünen für die dieser Arbeit zugrunde liegenden Fragestellungen nicht weiter verfolgt.

Die Zentralitätsforschung geht einen Schritt weiter. Bereits 1927 beschäftigt sich Bobek in seinem Beitrag „Grundfragen der Stadtgeographie“ mit der Reichweite von Funktionen. Walter Christaller gelang, aufbauend auf diesen ersten Ansätzen, im Jahr 1933 in seiner Arbeit „Die zentralen Orte in Süddeutschland“ die Ableitung der Theorie der Zentralen Orte, die funktionale und zentralörtliche Verflechtungen in den Mittelpunkt der stadtgeographischen Analyse stellt. (vgl. Heineberg 2000)

Die Zentrale-Orte Theorie von Walter Christaller

Die Zentrale-Orte-Theorie von Christaller ist eine ökonomische Theorie optimaler Standorte bzw. der Verteilung von Standorten von Infrastruktureinrichtungen, genauer: „Dienstleistungsfunktionen“ (Blotevogel 2005). Christallers Ziel war die Ableitung von Gesetzmäßigkeiten über die Größe, Anzahl und die Verteilung von „Siedlungen mit städtischen Funktionen“ (Christaller 1933, 1980) auf Basis einer Analyse der Raumstruktur(en) in Süddeutschland.

Herleitung der wissenschaftlichen Fragestellung und Begriffsdefinitionen

Das in der gegenwärtigen Raumordnung bekannte Zentrale-Orte Konzept (ZOK) geht auf die Dissertation von Walter Christaller aus dem Jahr 1932 zurück. Christaller suchte nach Gesetzmäßigkeiten, die „die Anzahl, Größe und Verteilung der Städte bestimmen“ (Christaller 1933, 1980).

Im Mittelpunkt seiner Betrachtungen steht dabei nicht das Erscheinungsbild einer Stadt, sondern vielmehr ihre Funktion als „Mittelpunkt ihrer [...] Umgebung“ und somit als Versorgungsstandort für Güter und Dienstleistungen. Die Größe des Versorgungsbereiches definiert Christaller mittels des Bedeutungsüberschusses eines Ortes¹¹, der ‚Zentralität‘: je größer der Bedeutungsüberschuss eines Ortes ist, desto größer seine Zentralität. Grundlage für die Zentralität eines Ortes wiederum bilden die Güter und Dienstleistungen (Christaller spricht von ‚Diensten‘), die in diesem verortet sind, den so genannten ‚zentralen Gütern‘: „Zentrale Güter und Dienste werden an einigen Punkten, und zwar notwendig an zentralen Punkten, produziert bzw. angeboten, um an vielen zerstreuten Punkten verbraucht zu werden“ (Christaller 1933, 1980). Die Zentralität eines Ortes wird demnach durch die angebotenen zentralen Güter bestimmt und äußert sich in der Größe des so genannten Ergänzungsgebietes: Zentrale Güter ‚höherer Ordnung‘ weisen ein großes Ergänzungsgebiet auf, während zentrale Güter ‚niederer Ordnung‘ über entsprechend kleinere Ergänzungsgebiete verfügen (vgl. Abbildung 9). Anders ausgedrückt: je größer der Verflechtungsbereich eines Ortes mit seinem Umland hinsichtlich der Produktions- und Dienstleistungsangebote eines Ortes ist (das Ergänzungsgebiet), desto größer die Zentralität eines Ortes.

¹¹ Christaller differenziert verschiedene Größen von Siedlungen nach Orten, Städten und Gemeinden Christaller 1933, 1980. Für die Ausführungen im Rahmen dieser Arbeit ist diese Unterscheidung jedoch nicht relevant, so dass im Folgenden vereinfacht von ‚Orten‘ gesprochen wird.

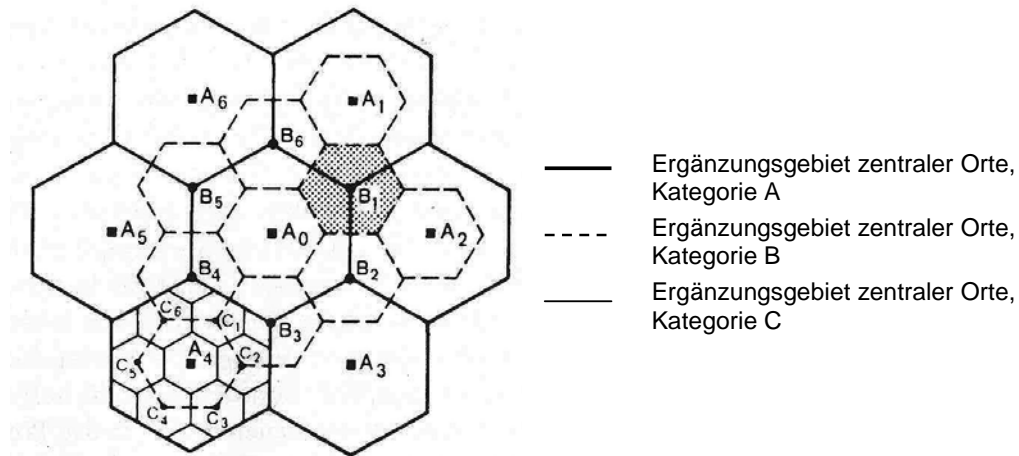


Abbildung 9: Zentraler Ort und Ergänzungsgebiet (Schätzl 2001) nach Christaller (1933, 1980)

Diese relative Größenbetrachtung kleiner und größerer Einzugsbereiche verschiedener Güter und Dienstleistungen untermauert Christaller mit der Argumentationslinie der ‚wirtschaftlichen Entfernung‘. Diese habe erheblichen Einfluss auf die tatsächliche, messbare Größe eines Ergänzungsgebietes und damit der Zentralität eines Gutes. Als wesentliche Einflussfaktoren nennt er u.a. den Preis des Gutes¹², die Einwohnerdichte des Ortes und seines Ergänzungsgebietes, die soziale Struktur der Bevölkerung in diesem Gebiet und die vorherrschenden Einkommensverhältnisse. (Christaller 1933, 1980)

Annahmen und Voraussetzungen der Theorie

Der Theorie der Zentralen-Orte liegen zwei wesentliche Annahmen zugrunde: Die Homogenität des Raumes und der vollkommene Markt, indem sich Nachfrager und Anbieter nach dem Modell des homo oeconomicus verhalten (Schätzl 2001; Blotevogel 2005; Blotevogel 1996 sowie Heineberg 2000).

Die beschriebenen Annahmen der räumlichen Verteilung und Hierarchisierung von Orten im Raum basieren zudem auf der Annahme, dass alle Teile des Raumes (in diesem Falle eines Landes) mit allen Gütern und Dienstleistungen zu versorgen sind. Christaller bezeichnet dies als das Versorgungsprinzip. Weiterhin geht Christaller davon aus, dass dies unter marktwirtschaftlichen Gesichtspunkten erfolgt, dass ein Gesamttraum mittels der geringstmöglichen Zahl von Güter- und Dienstleistungsstandorten versorgt wird, um die Versorgungskosten zu minimieren. Diese Grundvoraussetzung bezeichnet er als das Marktprinzip.

¹² In diesem Zusammenhang weist Christaller auf die Nachteile der Produktion an zentralen Orten hin: die Transportkosten seien zwar niedriger aufgrund der hohen Abnehmerzahl in geringer Entfernung. Kompensiert werde dieser Vorteil jedoch durch die Nachteile einer teureren Produktion, hervorgerufen u.a. durch höhere Löhne und höhere Grundstückspreise (Christaller 1933, 1980).

Räumliche Ausgestaltung der Zentrale-Orte Theorie

Das beschriebene Markt- oder Versorgungsprinzip geht von einem flächendeckenden Versorgungsbedarf aus, wie er bspw. über die kommunale Daseinsvorsorge für die technische Infrastruktur gegeben ist (§2, Abs. 4 ROG 1997). Entsprechend der Limitierung durch die Transportkosten müssen Güter im homogenen Räumen an weiteren Standorten hergestellt und angeboten werden. Die Größe der „Ergänzungsgebiete“ (Christaller 1933, 1980) oder Marktgebiete wird durch die maximale Distanz definiert, die die Nachfrager für ein Gut zurückzulegen bereit sind. Christaller (1933, 1980) spricht hier von der „äußeren Reichweite“.

Die optimale Verteilung der Güter-Standorte im Raum nach der Theorie der Zentralen Orte veranschaulicht Abbildung 10.

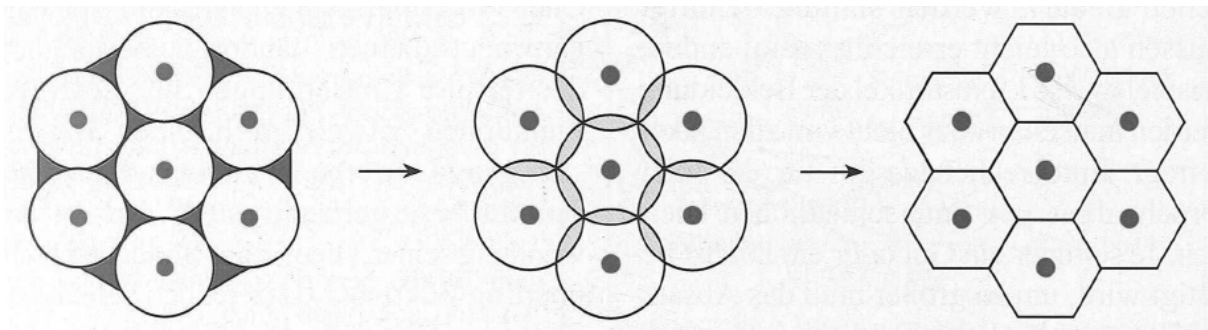


Abbildung 10: Die Entstehung hexagonaler Marktgebiete (Heineberg 2000)

Zur Optimierung des Marktgebietes eines Gutes sind die oberen Reichweiten kreisförmig angelegt. Um eine flächendeckende Versorgung zu sichern, müssten bei kreisförmigen Marktgebieten doppelt versorgte Bereiche in Kauf genommen werden (vgl. Abbildung 10, *Mitte*). Die optimale Form der Marktgebiete ist daher sechseckig (vgl. Abbildung 10, *rechts*). Diese ermöglichen die Versorgung des gesamten Ergänzungsgebietes mit minimalen Raumüberwindungskosten (vgl. Schätzl 2001).

Die Komplexität des Systems steigt mit zunehmender Zahl an Gütern und Dienstleistungen. Für Güter und Dienstleistungen des täglichen Bedarfs werden Nachfrager nur geringe Distanzen akzeptieren, für solche, die nur periodisch in Anspruch genommen werden, wie bspw. spezialisierte Freizeiteinrichtungen oder spezialisierte medizinische Dienste, werden auch größere Distanzen toleriert. Güter und Dienstleistungen haben demnach unterschiedlich große Marktgebiete (vgl. Abbildung 11).

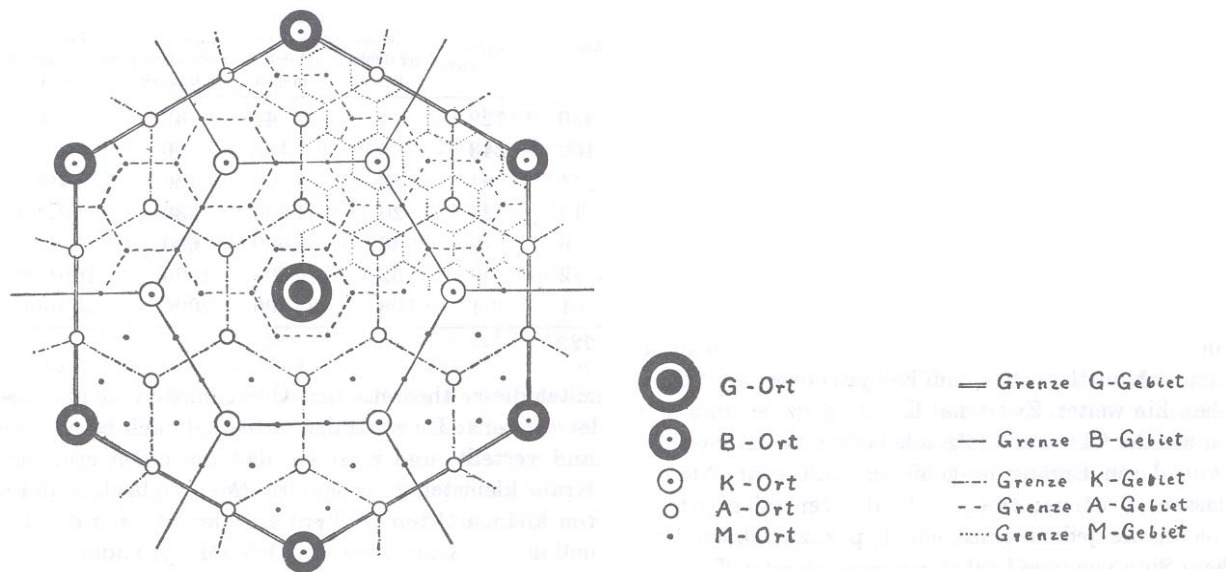


Abbildung 11: Unterschiedliche Marktgebiete im System der Zentralen Orte (nach Christaller 1933, 1980)

Weitere Ausführungen zum System der Zentralen Orte finden sich u.a. in Christaller (1933, 1980); Blotevogel (2005); Schätzl (2001); Fassmann (2004) sowie Heineberg (2000).

Die Praxistauglichkeit des theoretischen Ansatzes Christallers konnte durch die Entwicklung des Zentrale-Ortes Konzeptes der Bundesrepublik Deutschland, das auf seiner Zentrale-Orte Theorie basiert, nachgewiesen werden. Das Zentrale-Orte Konzept (ZOK) ist seit den 1960er Jahren einer der wichtigsten Bausteine von Raumordnungskonzepten und eines der bedeutendsten Instrumente der Landes- und Regionalplanung in der Bundesrepublik (vgl. Blotevogel 2005). Eine flächendeckende Implementierung erfolgte durch die Festlegung von Gemeinden mit zentralörtlicher Bedeutung in den Plänen und Programmen der Länder. Das ZOK dient mittels der Definition der Zentralörtlichkeit der Gemeinden in erster Linie der flächendeckenden Versorgung des Landes mit Gütern und Dienstleistungen aller Kategorien. Angelehnt an die Systemgrößen der Zentrale-Orte Theorie definierte die Ministerkonferenz für Raumordnung eine vierstufige Gliederung in Ober-, Mittel-, Unter- und Kleinzentren (vgl. Blotevogel 2005).

Angelehnt an diese mehrstufige Gliederung werden im Rahmen dieser Arbeit empfehlenswerte Einzugsbereiche bzw. Systemgrößen für einzelne Ver- bzw. Entsorgungsmodule erarbeitet, die ihrerseits potenziell unterschiedliche Zentralitäten hinsichtlich ihrer Ver- und Entsorgungsbereiche aufweisen (vgl. Kapitel 2). Christallers Ansatz, unterschiedlich große Marktgebiete für unterschiedliche Güter anzunehmen, bildet die Grundlage des Vorgehens für diese Arbeit: Es wird

untersucht, in wie weit sich die Marktgebiete der verschiedenen Systemmodule eines semizentralen Ver- und Entsorgungssystems in ihrer Größe voneinander unterscheiden und wie sich diese potenziell unterschiedlichen Größenordnungen semizentraler Einzelmodule auf die Größenordnungen integrierter semizentraler Systeme auswirken.

Teil B

3 Neue Infrastrukturlösungen für Ver- und Entsorgungssysteme in schnell wachsenden urbanen Räumen – der Ansatz Semizentral

Das Ganze ist mehr als die Summe seiner Teile.

[Aristoteles]

Der Ansatz Semizentral verfolgt die Zusammenführung der Vorteile zentraler und dezentraler Ver- und Entsorgungssysteme auf der einen und die Integration der verschiedenen Ver- und Entsorgungssektoren auf der anderen Seite. Die Zusammenführung der unterschiedlichen Systemvorteile erfolgt über die Systemgröße: das semizentrale System soll möglichst klein sein, um die Investitionskosten für das Leitungs- und Kanalnetz und die Transportwege zu minimieren und eine schnelle Auslastung des Systems zu erreichen. Gleichzeitig soll das System groß sein, um den Ansprüchen an einen gleich bleibend hohen Qualitätsstandard, stabile Ver- und Entsorgungssicherheit und geringe spezifische Kosten gerecht zu werden (Bieker & Selz 2006). Die Integration der verschiedenen Systeme der Ver- und Entsorgung verfolgt das Ziel, Synergieeffekte zwischen den verschiedenen Aufbereitungs- und Behandlungsschritten nutzbar zu machen. Wie bereits in Kapitel 2.2 beschrieben, reduziert der Ansatz Semizentral - in einem ersten Ansatz - die Definition von Ver- und Entsorgung auf die Sektoren Wasserversorgung, Abwasserbehandlung und Abfallbehandlung. Gegenstand der Forschung und Modellierung ist der Neubau, d.h. Siedlungserweiterungsbereiche und die in diesen benötigten bzw. anfallenden Bedarfs- bzw. Verbrauchsmengen inkl. der Verteilung und Sammlung innerhalb dieser Siedlungseinheiten.

Die vor- bzw. nachgelagerten Prozesse liegen außerhalb der betrachteten Systemgrenze: Gegenstand der Betrachtung sind die Aufbereitung und Verteilung von Trinkwasser, die Sammlung und Behandlung bzw. Wiederaufbereitung von Abfällen, Schwarz- und Grauwasser sowie die Interaktion der verschiedenen Stoffströme durch die häusliche Nutzung und die integrierte Behandlung (vgl. Abbildung 12).

Die Abgrenzung für die einzelnen Stoffströme begründet sich wie folgt: Für die Wasserversorgung wird der Transport von der Rohwasserquelle zur Behandlung nicht mit bilanziert, da eine räumliche Verortung notwendig wäre. Da jedoch die Übertragbarkeit auf schnell wachsende urbane Räume Chinas im Allgemeinen intendiert ist, wird die Bilanzierung nicht an einem Beispiel, sondern ‚raumlos‘ durchgeführt. Die Wasserversorgung umfasst im Rahmen vollintegrierten Ansatz Semizentral entsprechend die Aufbereitung des Rohwassers zu Trinkwasser und den Transport zum Verbraucher im Druckleitungsnetz (vgl. Abbildung 12: Teile ‚Behandlung‘ und ‚Verteilung‘). Zusätzlich wird die Versorgung der Haushalte

mit Brauchwasser im zweiten Druckleitungssystem unter dem Modul Wasserversorgung mit bilanziert.

Die Abwasserreinigung, bilanziert in den Modulen Grauwasser- und Schwarzwasserbehandlung, umfasst die getrennte Sammlung der häuslichen Abwässer (Grauwasser und Schwarzwasser) und deren spezifische Aufbereitung (vgl. Abbildung 12: Teile ‚Behandlung‘, ‚Verteilung‘ und ‚Nutzung‘). Ein Transport zu einem geeigneten Vorfluter wird zur Sicherung der Übertragbarkeit der Ergebnisse auf schnell wachsende urbane Räume Chinas im Allgemeinen nicht berücksichtigt.

In urbanen Räumen der Volksrepublik China ist von einer häuslichen Abtrennung der Wertstoffe auszugehen, da flächendeckende informelle wie formelle Sammel-systeme für Wertstoffe bestehen.¹³ Daher umfasst das Modul Abfallbehandlung lediglich die Sammlung häuslicher Rest- und Bioabfälle innerhalb des Siedlungsgebietes (Holsystem), deren Transport zur Behandlungsanlage sowie deren Behandlung (vgl. Abbildung 12: Teile ‚Behandlung‘ und ‚Sammlung‘). Die Endablagung sowie der zugehörige Transport sind entsprechend der Module Wasserversorgung und Abwasserbehandlung nicht Teil der Systembetrachtung.

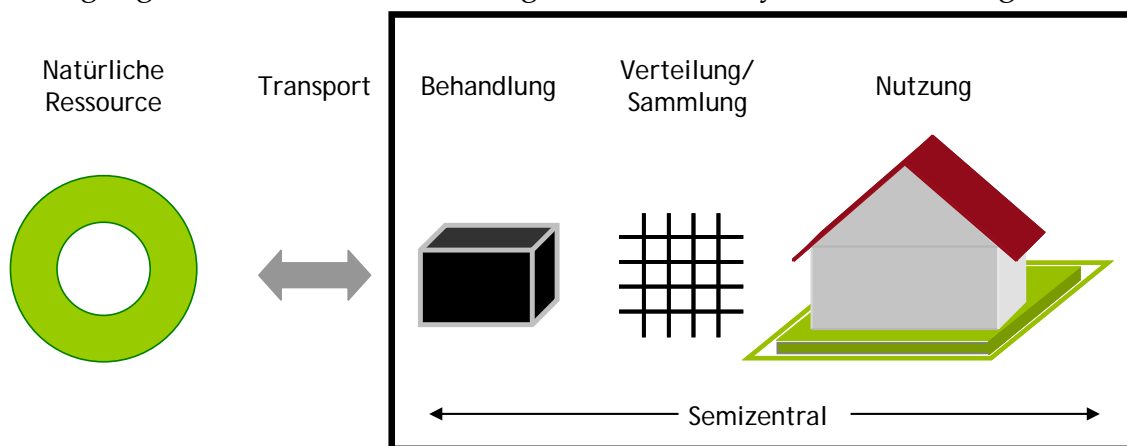


Abbildung 12: Systemgrenzen Semizentral

Auch werden wesentliche innere Einflussfaktoren auf das System wie Marktpotenziale oder -verzerrungen nicht berücksichtigt. Verbrauchs- bzw. Bedarfsmengen werden entsprechend der chinesischen Situation angesetzt (vgl. Kapitel 3.1). Weitere Faktoren wie bspw. die soziale Akzeptanz neuer technischer Verfahren und die Kosten für Nutzer und Betreiber, fließen in die Bewertung verschiedener potenzieller Systeme ein (vgl. Kapitel 3.2). Selbiges gilt für die äußeren Einflussfaktoren: die Vorauswahl technischer Modulkomponenten erfolgt unter der Prä-

¹³ Beim 'Versagen' dieser Systeme ist die Einrichtung eines Bringsystems zur Sammlung von Wertstoffen zu empfehlen, um eine Wiederverwendung bzw. Verwertung außerhalb des semizentralen Ver- und Entsorgungszentrums in zentralen Einrichtungen zu gewährleisten. Vgl. dazu auch Rohde (2007).

misser, dass gesetzliche chinesische Vorgaben eingehalten werden und die hygienisch einwandfreie Qualität aller Stoffströme dauerhaft gewährleistet ist. Aufgrund gestiegener Anforderungen an die Qualität abzulagernder Abfälle werden Behandlungsverfahren zur Mengenreduktion sowie zur Stabilisierung der Abfälle notwendig (vgl. Kapitel 2.2.1), die wiederum einen erheblich erhöhten Transportaufwand zur Folge haben (Tietz 2007). Durch die Behandlung der Rest- und Bioabfälle ‚vor Ort‘, in einem semizentralen Ver- und Entsorgungszentrum in unmittelbarer Nähe zum Anfallort, werden diese Transportaufwendungen minimiert, da erst die reduzierten Mengen zur Ablagerung transportiert werden müssen. Dies begünstigt sowohl die Energie- als auch die Emissionsbilanz (Lärm und Luftschadstoffe für Transporte) des semizentralen Systems im Vergleich zum zentralen Ansatz. Gleichzeitig ist jedoch mit Emissionen innerhalb des Siedlungsbereiches, ausgehend vom Ver- und Entsorgungszentrum, zu rechnen. Um diese möglichst gering zu halten, werden sämtliche Behandlungs- und Aufbereitungsprozesse ‚eingehaust‘, finden also innerhalb des Zentrums und unter Schall- und sonstigem Emissionsschutz (bspw. Abluftbehandlung) statt.

3.1 Konzeptionelle Ansätze zur Entwicklung semizentraler Ver- und Entsorgungssysteme in der Volksrepublik China

Wie bereits in Kapitel 2.2 beschrieben, werden neue Siedlungsgebiete in China überwiegend nach dem Prinzip der Funktionstrennung entwickelt. Eine räumliche Kombination von Wohnen und Arbeiten ist nicht unmittelbar vorgesehen und aufgrund der industriellen Wachstumsbranchen des Landes vielfach auch nicht realisierbar. Entsprechend wird von Siedlungsbereichen ausgegangen, in denen überwiegend Wohngebäude zu finden sind, mit einzelnen Gebäuden für den öffentlichen Bedarf wie Grundschulen, Sporteinrichtungen und kleinere Nahversorgungseinheiten sowie einem Anteil an Frei- bzw. Grünflächen. Von einer Vermischung von gewerblichen und häuslichen Abwässern und Abfällen ist daher nicht auszugehen.

Das geplante semizentrale Ver- und Entsorgungszentrum wird in räumlicher Nähe zu den Wohneinheiten verortet. Dies reduziert die Sammlungs- und Verteilungswege und damit die Kosten für Druck- und Kanalnetze sowie den Transport von Abfällen und Schlämmen zur Behandlung. Um Beeinträchtigungen durch Lärm- und Geruchsemissionen auf ein Minimum zu reduzieren bzw. zu vermeiden, wird das gesamte Ver- und Entsorgungszentrum in einem geschlossenen Gebäudekomplex untergebracht.

Um dem Ziel der Ressourcenschonung gerecht zu werden, wird häusliches Grauwasser als Brauchwasser wieder verwendet. Dazu werden die Abwasserströme Grauwasser und Schwarzwasser (vgl. Kapitel 2.3.3) im Haushalt getrennt vonein-

ander erfasst und im Ver- und Entsorgungszentrum einzeln aufbereitet. Das aufbereitete Grauwasser wird als Brauchwasser zur Toilettenspülung eingesetzt, was den Trinkwasserbedarf von 109 Liter auf 76 Liter pro Einwohner und Tag verringert. Die Akzeptanz der Wasserwiederverwendung spielt dabei eine entscheidende Rolle (vgl. Bieker & Selz 2006). Trotz der seuchenhygienisch einwandfreien Qualität des Brauchwassers ist mit Vorbehalten gegenüber einer häuslichen Wiederverwendung von Abwasserströmen zu rechnen. Diese kann durch den ausschließlichen Einsatz als Toilettenspülwasser minimiert bzw. nahezu ausgeschlossen werden, während beim Einsatz für sensiblere Nutzungen (Waschmaschinenanschluss, Wasser für Reinigungszwecke etc.) mit Vorbehalten gegenüber einer Wiederverwendung zu rechnen wäre. Entsprechend wird der Einsatz von Brauchwasser auf den Einsatz als Toilettenspülwasser beschränkt. Die dafür benötigte Menge liegt deutlich unter der anfallenden häuslichen Grauwassermenge nach DIN-Definition (vgl. Kapitel 2.3.3). Entsprechend werden die Küchenabwässer nicht mit dem Duschabwasser, sondern gemeinsam mit den Schwarzwasserströmen erfasst und aufbereitet. Die aufzubereitende Grauwassermenge (Duschwasser und Waschmaschinenabläufe) wird dadurch deutlich reduziert (basierend auf den Wasserbedarfswerten der Stadt Qingdao auf 41 Liter pro Einwohner und Tag (vgl. Abbildung 13)), ausreichend für die durchschnittliche Bedarfsmenge für die Toilettenspülung plus Pufferkapazitäten (vgl. Abbildung 7).

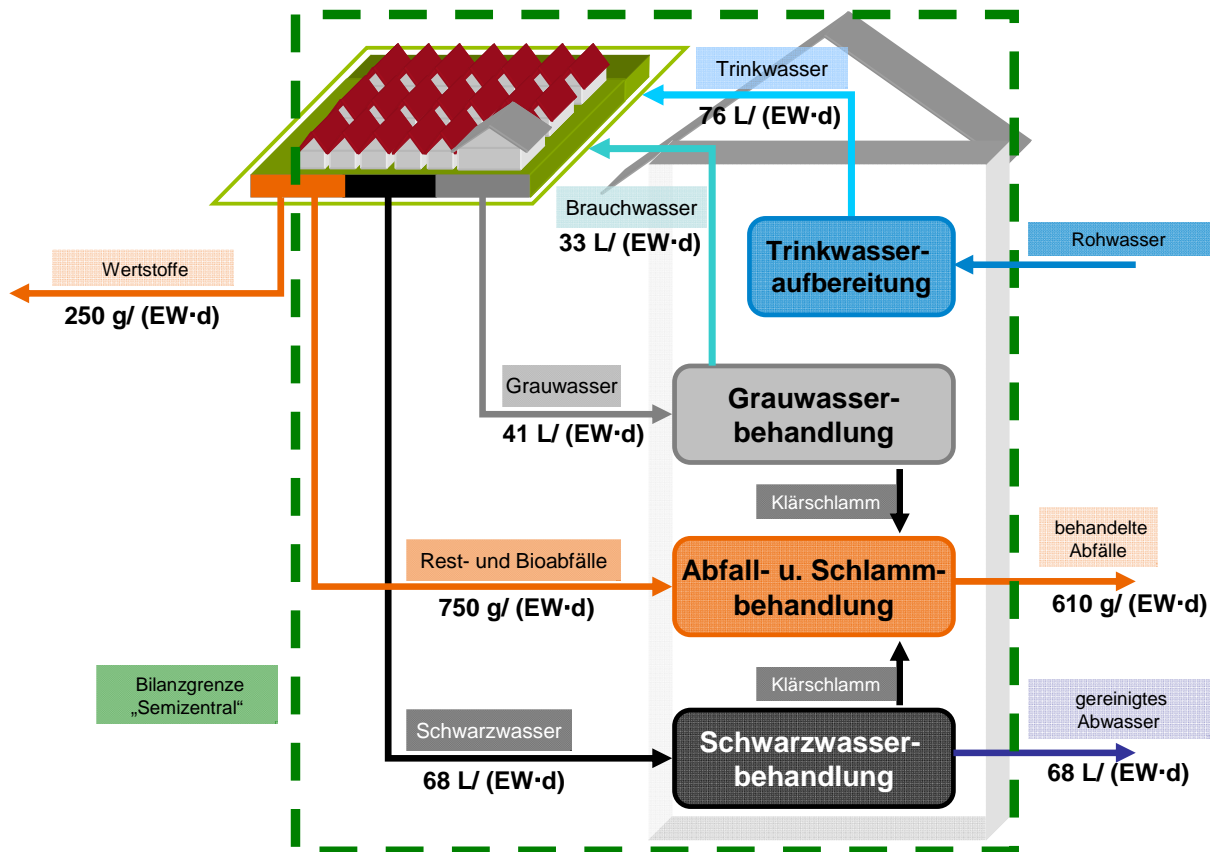


Abbildung 13: Massenströme im vollintegrierten semizentralen System
(Werte nach Cornel 2008)

Die bei der Aufbereitung des Grau- und Schwarzwassers anfallenden Klärschlämme werden innerhalb des semizentralen Systems gemeinsam mit den systemimmanenten Abfallmengen (vgl. Kapitel 2.3.3) behandelt, Wertstoffe werden zuvor ausgeschleust (vgl. Abbildung 13). Die integrierte Behandlung von Abfällen und Klärschlämmen ist, insbesondere vor dem Hintergrund der gegenwärtigen Situation in der Volksrepublik China, ein elementarer Systembaustein integrierter semizentraler Ver- und Entsorgungssysteme. Die bestehende sektorale Ver- und Entsorgungsstruktur berücksichtigt jeweils einzelne Stoffströme; die Abhängigkeiten zwischen den einzelnen Sektoren werden dabei nicht berücksichtigt. Durch die steigenden Behandlungskapazitäten für Abwässer steigen auch die Klärschlammmengen. Für die bereits heute anfallenden Klärschlammmengen fehlen vielerorts (adäquate) Behandlungsmöglichkeiten und die Situation wird sich in den kommenden Jahren weiter verschärfen: Während im Jahr 2006 laut offiziellen Statistiken 57% des städtischen Abwassers gereinigt wurde, ist laut 11. 5-Jahresplan eine Klärquote von 70% angestrebt (BfAi 2007). Vorgaben für die Behandlung der Klärschlämme finden sich nicht im aktuellen 5-Jahresplan. Bislang wurden Klärschlämme im Regelfall deponiert, was aufgrund der steigenden Mengen und vor allem aufgrund der mangelnden Entwässerung kaum mehr realisierbar ist (vgl. openPR 2008).

In einem ersten Schritt werden zunächst geeignete technische Verfahren für die Aufbereitung bzw. Behandlung der intendierten Teilströme Trinkwasser, Brauchwasser (aus Grauwasser), Schwarzwasser und nicht verwertbare Abfälle zur Beseitigung modelliert und Empfehlungen zum Einsatz in integrierten semizentralen Systemen abgeleitet.

In einem zweiten Schritt werden verschiedene Größenordnungen integrierter semizentraler Systeme miteinander verglichen und daraus eine empfehlenswerte Größenordnung für den Einsatz in schnell wachsenden urbanen Räumen entwickelt.

3.2 Methodisches Vorgehen: Entwicklung vollintegrierter semizentraler Systeme

Wie bereits dargestellt, lässt sich der Forschungsgegenstand der ersten Untersuchungsphase in mehrere Bausteine unterteilen. Im Fokus stehen einerseits die Ermittlung geeigneter technischer Modulkombinationen und andererseits die Ermittlung empfehlenswerter Größenordnungen des vollintegrierten Gesamtsystems. In einem ersten Schritt werden die Rahmenbedingungen für die Modellierung definiert. Im Anschluss folgt die Auswahl technischer Aufbereitungsverfahren, die für den Einsatz in semizentralen Ver- und Entsorgungssystemen als geeignet und im Zusammenwirken als sinnvoll eingestuft werden. In einem dritten Schritt wird ein Kriterienkatalog aufgestellt, der sowohl eine Bewertung der verschiedenen technischen Modulkombinationen als auch verschiedener Systemgrößen und -zuschnitte ermöglicht.

3.2.1 Grundlagen zur Modellierung vollintegrierter semizentraler Systeme

Für die Modellbildung werden verschiedene Rahmenbedingungen definiert, um die Übertragbarkeit auf schnell wachsende urbane Räume in China (und perspektivisch auch darüber hinaus) zu sichern und die Transparenz des Modells zu erhöhen¹⁴. Im Einzelnen sind dies:

- Homogenität des Raumes: Räumliche Spezifika wie Topographie, Entfernung zu Vorflutern etc. existieren nicht bzw. sind definiert¹⁵, ebenso bleiben Marktverzerrungen durch Subventionen oder Wettbewerb zwischen

¹⁴ Die Verallgemeinerung der Realität ist notwendig, um die Modellierung a) überhaupt zu ermöglichen und b) nachvollziehbar zu machen; vgl. dazu Blotevogel (1996): „Je realitätsnäher die Theorie wird (...), desto komplizierter und unübersichtlicher werden die Modelle.“

¹⁵ Die Siedlungserweiterungsfläche wird als eben definiert, die Standardentfernung zur Deponie beträgt 30 km und es wird die unmittelbare Nähe zur Regenwasserkanalisation bzw. zum Vorfluter definiert (BMBF 2006).

bestehenden Infrastruktureinrichtungen (durch Überkapazitäten o.ä.) unberücksichtigt.

- Die öffentliche Hand ist verpflichtet, ein flächendeckendes (und versorgungssicheres und kosteneffizientes) Ver- und Entsorgungssystem bereitzustellen (entspr. der Daseinsvorsorge in der BRD). Gleichzeitig besteht ein Anschlusszwang der Bevölkerung an das bereitgestellte System.
- Homo oeconomicus: Sowohl Systembetreiber als auch Systemnutzer streben nach Gewinnmaximierung. Wesentliche Rahmenbedingung dafür ist die Kostendeckung der erhobenen Gebühren (vgl. Kostendeckung nach Wirklichkeitsmaßstab, §7 (1) KAG aus KAG 1995) bei gleichzeitig effizienter Systemgestaltung und Betrieb.

Die räumliche Modellierungsgrundlage: Die Suprazelle

Mindest- bzw. Maximalgrößen für Ver- und Entsorgungsanlagen ergeben sich zwangsläufig aus technischen und wirtschaftlichen Randbedingungen. So lassen sich einerseits mit größeren Anlagen geringere Stückkosten erreichen (positive Skaleneffekte, vgl. Günthert & Reicherter 2001; Reicherter 2003), während andererseits große Ver- und Entsorgungsgebiete hohe Transportkosten verursachen. Vor diesem Hintergrund lässt sich die Frage nach der empfehlenswerten Größenordnung nur unter Berücksichtigung der Siedlungsstruktur beantworten (vgl. dazu auch Tietz 2007).

Gleichzeitig besteht der Anspruch, ein Modell empfehlenswerter Größenordnungen von Ver- und Entsorgungssystemen für schnell wachsende urbane Räume in China im Allgemeinen zu entwickeln, also unabhängig von Baustruktur, lokalen und regionalen Spezifika wie Bodenbeschaffenheit, Topographie sowie dem räumlichen Zusammenwirken mit bestehenden Infrastruktureinrichtungen etc.

Vor diesem Hintergrund werden die verallgemeinerbaren Charakteristika chinesischer Siedlungserweiterungen identifiziert und zu einem Rechenmodell, der so genannten Suprazelle, zusammengeführt. Die Suprazelle (vgl. Abbildung 14) basiert auf durchschnittlichen Dichtewerten, Abstandsflächen, Gebäudehöhen und Flächennutzungen der chinesischen Bauordnung (GB/J 50180 – 93, Ministry of Housing and Urban-Rural Development 2002) sowie aus tatsächlichen Gegebenheiten. Letztere wurden durch die Benennung von ‚Beispielgebieten‘ verschiedener Standorte an der Ostküste Chinas (die ‚schnell wachsenden urbanen Räume‘ des Landes) verglichen und konkretisiert.¹⁶ Die der Suprazelle zugrunde liegende

¹⁶ Weitere Details zur Berechnung und Entwicklung der Suprazelle in (BMBF 2006). Bereits an dieser Stelle sei betont, dass die explizit für schnell wachsende urbane Räume Chinas entwickelte Suprazelle im Hinblick auf die Bevölkerungsdichte repräsentativ für Entwicklungsbereiche weiterer Transformationsländer ist. So finden sich vergleichbare Einwohnerdichten in Neubaugebieten

Rasterung geht zurück auf das traditionelle Maß der chinesische Stadtentwicklung (vgl. Bähr & Jürgens 2005) und entspricht auch gegenwärtig noch in ihren wesentlichen Elementen der Struktur neuer Siedlungsgebiete in der Volksrepublik China.

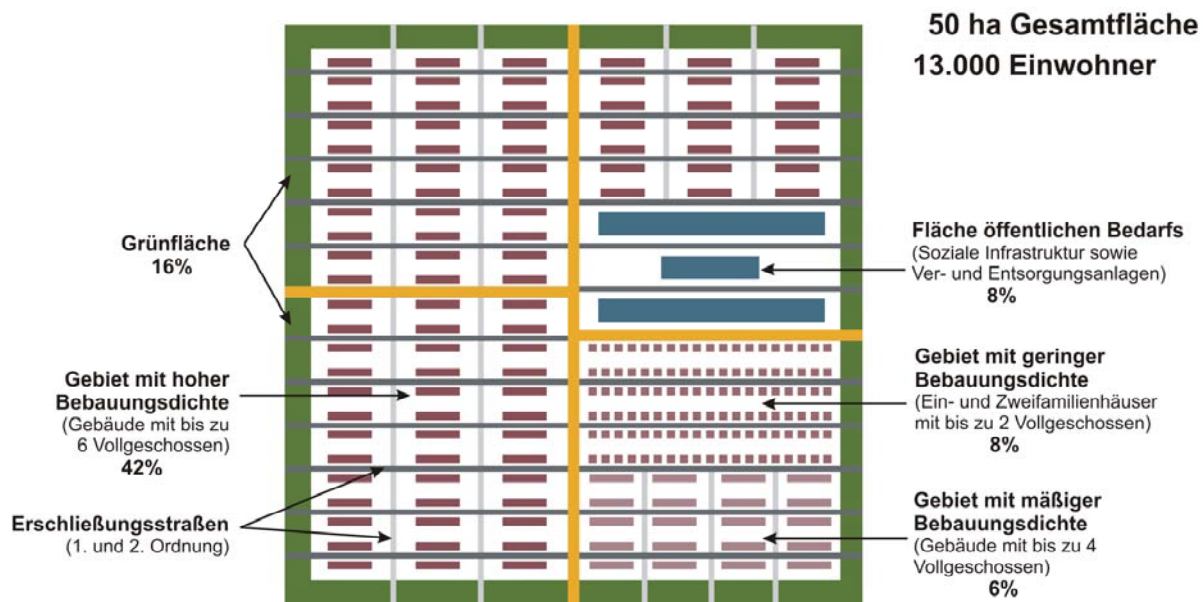


Abbildung 14: Die Suprazelle (nach Böhm et al. 2006)

Die Suprazelle gliedert sich in vier verschiedene Funktionen: ‚Wohnen‘, ‚Öffentliche Einrichtungen‘, ‚Grünflächen‘ und ‚Erschließung‘. Die Wohnnutzung ist wiederum in drei verschiedene Kategorien unterteilt: Den wesentlichen Anteil mit über 40% der Gesamtfläche machen hoch verdichtete Siedlungsbereiche aus, die aus freistehenden, bis zu sechs Vollgeschossen umfassenden, Gebäuden bestehen. Einen mit 6% erheblich geringeren Teil belegen mäßig verdichtete Bereiche, die über mit den hoch verdichteten Bereichen vergleichbare Abstandsflächen verfügen, allerdings bei geringeren Gebäudehöhen. In diesen Bereichen sind maximal vier Vollgeschosse angesetzt. In beiden Kategorien liegt die durchschnittliche Wohnfläche pro Wohneinheit bei 90 m² bei einer durchschnittlichen Belegungsdichte von 3,3 Personen/ Wohneinheit (vgl. BMBF 2006). Die dritte Kategorie umfasst mit durchschnittlich 300 m² größere Wohneinheiten (bei rechnerisch gleicher Belegungsdichte), die sich auf überwiegend freistehende Ein- und Zweifamilienhäuser verteilen.

Im Bereich der ‚Öffentlichen Einrichtungen‘ sind Nahversorgungseinrichtungen sowie soziale Infrastruktureinrichtungen wie z.B. Sportmöglichkeiten vorgesehen. Auch das Ver- und Entsorgungszentrum zur Behandlung der verschiedenen Stoffströme ist in diesem Teil der Suprazelle verortet (vgl. Abbildung 15). Der Anteil

in Neu Delhi, Indien und Johannesburg, Südafrika (vgl. dazu auch Kapitel 5: Übertragbarkeit des Semizentral Ansatzes).

der Frei- und Grünflächen innerhalb der Suprazelle liegt bei durchschnittlich 16% und ist am Rand der Zelle verortet.

Insgesamt umfasst die Suprazelle eine ebene Fläche von 50 ha und eine kalkulierte Einwohnerzahl von 13.000 Einwohnern. Dies entspricht einer Einwohnerdichte von 260 Einwohnern pro ha. Aus diesem Wert wird deutlich, dass die angesetzten Flächennutzungen und ihr Verhältnis untereinander keineswegs der Struktur einer Stadtentwicklung entsprechen¹⁷, sondern eine reine Siedlungserweiterungsfläche mit sehr hoher Bevölkerungsdichte widerspiegeln.

Wesentliches Charakteristikum der Modellzelle ist der fehlende Raum- und Entwurfsbezug. Sie stellt weder ein städtebauliches Modell des typischen chinesischen Siedlungsgebietes in China dar, noch ist sie als städtebauliche Empfehlung zu verstehen. Die Verortung der verschiedenen Nutzungen innerhalb der Zelle dient ausschließlich der Kalkulation der Größe zu ver- und entsorgender Siedlungsbereiche und der davon abhängigen Leitungs- und Kanallängen sowie der zurückzulegenden Distanzen zur Abfallsammlung. Die Suprazelle dient ausschließlich als theoretisches Modell und in dieser Eigenschaft als Grundlage der technischen Modellierung. (vgl. BMBF 2006)

Neben den Dichte- und Modellierungsvorgaben kennzeichnet die Suprazelle auch die Grenze der Systembetrachtung (vgl. Kapitel 2.2): Die Suprazelle entspricht dem Ver- und Entsorgungsgebiet. Bilanziert werden alle Stoffströme innerhalb der Zelle, räumlich außerhalb vor- und nachgelagerte Prozesse bzw. Verfahrensschritte (Rohwassergewinnung und -transport, Einleitung gereinigten Abwassers in die Vorflut bzw. Deponierung) werden nicht bilanziert.

3.2.2 Auswahl technischer Aufbereitungs-/ Behandlungsverfahren für den Einsatz in semizentralen Ver- und Entsorgungssystemen

Zunächst werden die zu betrachtenden Stoffströme des semizentralen Ver- und Entsorgungssystems definiert, für die technische Verfahren zur Behandlung innerhalb eines integrierten semizentralen Ver- und Entsorgungssystems ausgewählt werden müssen.¹⁸

Eine Vorauswahl technischer Aufbereitungsverfahren ist erforderlich, da die Bewertung auf das vollintegrierte Gesamtsystem, also technische Modulkombinationen zur Behandlung aller systemimmanenten Stoffströme, fokussiert. Die Fähig-

¹⁷ Selbst die beiden am dichtesten besiedelten Städte Chinas Hongkong und Macao weisen durchschnittliche Einwohnerdichten von ‚nur‘ 62 bzw. 170 Einwohner/ ha auf, hoch verdichtete Innenstadtbereiche von Paris kommen bis auf 200 Einwohner/ ha (UN 2008).

¹⁸ Zu detaillierten Beschreibungen der Auswahl der Stoffströme und der Aufbereitungsverfahren sowie zu technischen Details der verschiedenen Verfahren vgl. BMBF 2006 sowie Chang 2009 (im Erscheinen).

keit eines Verfahrens, die Behandlung eines Stoffstromes zu ermöglichen, wird in der Bewertung bereits vorausgesetzt. Die Vorauswahl muss daher sicherstellen, dass die einzelnen Systemkomponenten dem Anspruch an eine hygienisch einwandfreie und betriebssichere Behandlung jedes einzelnen Stoffstromes gerecht werden können.

In einem zweiten Schritt werden die verschiedenen technischen Einzelverfahren zu sinnvollen Modulkombinationen zusammengeführt (vgl. Tabelle 1 sowie BMBF 2006). Durch den Einsatz unterschiedlicher Aufbereitungs- und Behandlungsverfahren können im Rahmen der Modellierung auch Unterschiede in den Synergiewirkungen der verschiedenen Modulkombinationen untersucht und eingeschätzt werden (bspw. Vor- bzw. Nachteile des Einsatzes aerober Behandlungsverfahren im Vergleich zu anaeroben Verfahren).

Tabelle 1: Technische Modulkombinationen vollintegrierter semizentraler Ver- und Entsorgungssysteme für schnell wachsende urbane Räume (nach BMBF 2006)¹⁹

Varianten [Nr.]	Trinkwasseraufbereitung <i>mittels</i>				
1 - 12	Ultrafiltration cross-flow				
13 - 24	Ultrafiltration dead-end				
25 - 36	Nanofiltration				

Varianten [Nr.]	Schwarz- wasser	Grau- wasser	Klär- schlamm	Bio- abfall	Rest- abfall
1, 13, 25	Biofilter	Biofilter	MBA anaerob		
2, 14, 26	Biofilter	Biofilter	MBA anaerob		MBA aerob
3, 15, 27	Biofilter	MBR	MBA anaerob		MBA aerob
4, 16, 28	Biofilter	SBR	MBA anaerob		MBA aerob
5, 17, 29	MBR	Biofilter	MBA anaerob		MBA aerob
6, 18, 30	MBR	MBR	MBA anaerob		MBA aerob
7, 19, 31	MBR	SBR	MBA anaerob		MBA aerob
8, 20, 32	MBR	MBR	MBA anaerob	MBA aerob	
9, 21, 33	MBR	SBR	MBA anaerob	MBA aerob	
10, 22, 34	Biofilter	MBR		MBA anaerob	
11, 23, 35	Biofilter	SBR		MBA anaerob	
12, 24, 36	MBR	Biofilter		MBA anaerob	

3.2.3 Vorgehen zur Ermittlung empfehlenswerter Größenordnungen vollintegrierter Ver- und Entsorgungssysteme

Um eine oder mehrere empfehlenswerte Größenordnungen vollintegrierter semizentraler Ver- und Entsorgungssysteme ermitteln zu können, werden die einzelnen Suprazellen zu verschiedenere Systemgrößen, den so genannten ‚Fällen‘ zusammengeführt.

- Fall 1: 1 Suprazelle: 13.000 Einwohner
- Fall 2: 2 Suprazellen: 26.000 Einwohner
- Fall 3: 4 Suprazellen: 52.000 Einwohner
- Fall 4: 8 Suprazellen: 104.000 Einwohner
- Fall 5: 16 Suprazellen: 208.000 Einwohner

¹⁹ Kurzbeschreibungen der verschiedenen Behandlungs- bzw. Aufbereitungsverfahren sind dem Anhang zu entnehmen.

Im Fall 1 existiert ein Ver- und Entsorgungszentrum (VEZ) für die Behandlung der Stoffströme von 13.000 Einwohnern, im Fall 2 ver- und entsorgt ein VEZ bereits die doppelte Anzahl angeschlossener Einwohner. Die Größe des Ver- und Entsorgungszentrums sowie die der zugehörigen Leitungs- und Kanalsysteme steigen mit zunehmender Systemgröße. Gleiches gilt auch für die nicht netzgebundenen Sammelsysteme im Bereich der Abfallsammlung.

Neben den Systemgrößen bilden die Fälle auch potenzielle Strukturen von Siedlungserweiterungen ab. Grundsätzlich sind bandförmige Siedlungserweiterungen um einen bestehenden Siedlungskern ebenso denkbar wie kompakte Erweiterungen. Der Vergleich der a- und b-Fälle (vgl. Abbildung 15) soll neben der reinen Größenordnung auch Aufschluss über die empfehlenswerte räumliche Struktur der Siedlungserweiterung geben.

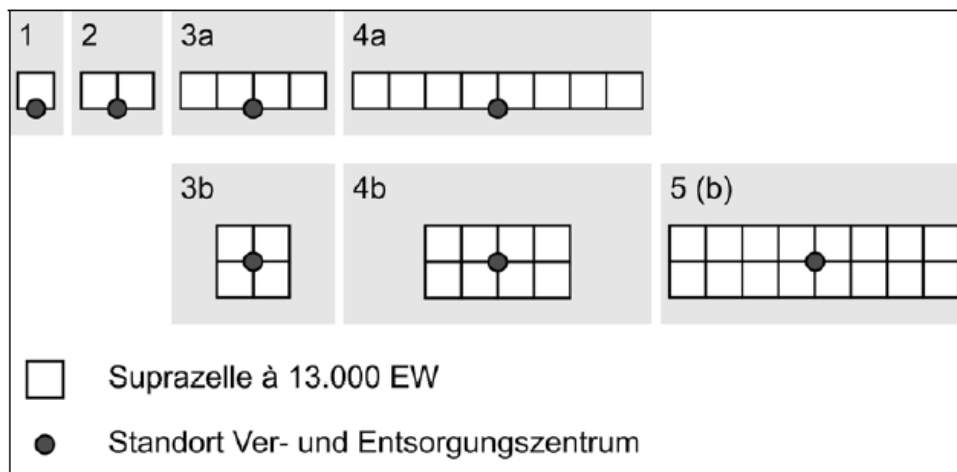


Abbildung 15: Die Größenmodellierung vollintegrierter semizentraler Systeme: Die verschiedenen ‚Fälle‘ (BMBF 2006)

Die Aggregation einzelner Suprazellen zu größeren Entwicklungseinheiten ist nur begrenzt möglich und sinnvoll. Da die Suprazellen monostrukturiert sind und neben geringen Flächen für öffentliche Einrichtungen überwiegend der Wohnnutzung dienen, sind Agglomerationen ohne zusätzliche Versorgungseinrichtungen (über den täglichen Bedarf hinaus, sofern dieser überhaupt gedeckt wird) oberhalb eines Schwellenwertes aus planerischer Sicht nicht tragfähig. Dieser Schwellenwert wird im Rahmen der Modellierung auf maximal 16 Suprazellen und damit 208.000 Einwohner festgelegt. Grundsätzlich ist auch die Entwicklung größerer Siedlungseinheiten mit vollintegrierten Ver- und Entsorgungsstrukturen denkbar und ggf. nicht weniger sinnvoll. Für eine entsprechende Modellierung müsste jedoch die Struktur der Suprazellen angepasst werden (Art der Nutzungen, Nutzungsverteilung, ggf. Einwohnerdichte etc.), um entsprechende Versorgungseinrichtungen, Arbeitsplätze, Schulen etc. vorsehen zu können.

3.2.4 Kriterien zur Bewertung vollintegrierter Ver- und Entsorgungssysteme

Die in Kapitel 3.2.2 dargestellten technischen Modulkombinationen vollintegrierter Ver- und Entsorgungssysteme werden hinsichtlich ihrer Eignung als angepasstes, flexibles, integriertes und nachhaltiges semizentrales Ver- und Entsorgungssystem für urbane Räume Chinas einer so genannten Nachhaltigkeitsbewertung (BMBF 2006) unterzogen. Die Bewertungskriterien orientieren sich dabei an den drei Dimensionen der Nachhaltigkeit (Enquete-Kommission "Schutz des Menschen und der Umwelt - Ziele und Rahmenbedingungen einer nachhaltig zukunftsverträglichen Entwicklung" 1998): der ökologischen, der ökonomischen und der sozialen.

Methodisch liegt der Bewertung im Bereich der ökologischen und sozialen bzw. soziokulturellen Kriterien eine Nutzwertanalyse zugrunde, die die verschiedenen vollintegrierten Modulkombinationen vergleichend bewertet. Der Einsatz von Nutzwertanalysen ermöglicht eine Gewichtung verschiedener Kriterien, so dass eine potenziell unterschiedliche Bedeutung einzelner Faktoren abgebildet werden kann.²⁰

Die Kriterien der ökologischen Bewertung (vgl. Tabelle 2) orientieren sich an den Kriterien der Umweltverträglichkeitsprüfung (UVPG 2008, Anlage 2). Insgesamt werden 14 Kriterien berücksichtigt: Die Risiken durch potenzielle Störfälle oder eingesetzte Stoffe bewerten das Gefährdungspotenzial eines semizentralen Ver- und Entsorgungssystems. Die Wirkung auf Umweltmedien und Menschen werden über verschiedene Emissionen der Behandlungsanlagen abgebildet und bewertet, die Systeminput- und -outputströme mittels der Kriterien Flächen-, Rohwasser- und Energiebedarf sowie die Entstehung von Abfällen, die die Systemgrenzen verlassen (vgl. Tabelle 2). Nicht alle Kriterien sind für alle Stoffströme relevant. So findet bspw. der Rohwasserbedarf nur im Stoffstrom Trinkwasserversorgung Anwendung, während Emissionswerte oder Flächenbedarf für alle Verfahren und Anlagengrößen ermittelt und bewertet werden.

²⁰ Für eine detaillierte Aufstellung der Gewichtung der einzelnen Kriterien, deren Herleitung und das methodische Vorgehen im Rahmen der Nutzwertanalyse vgl. BMBF 2006.

Tabelle 2: Ökologische Kriterien zur Bewertung vollintegrierter semizentraler Systeme (nach BMBF 2006)

Ökologische Kriterien zur Bewertung vollintegrierter semizentraler Systeme
Lärmemissionen
Geruchemissionen
Bodenbelastung
Luftbelastung
Wasserbelastung
Beeinträchtigung von Natur und Landschaft
Risiko durch eingesetzte Stoffe
Störfallwahrscheinlichkeit
Reversibilität eines Störfalls
Entstehung überwachungsbedürftiger Abfälle ²¹
Entstehung besonders überwachungsbedürftiger Abfälle
Flächenverbrauch
Rohwasserbedarf
Energiebedarf

Im Rahmen der soziokulturellen Bewertung steht die Akzeptanz des Systems im Vordergrund. Aus Sicht potenzieller Nutzer des Systems sind Faktoren wie die Zuverlässigkeit aller angebotenen Inputströme sowie die gesicherte Entsorgung und Energiebereitstellung von Bedeutung. Darüber hinaus spielt die Bedienerfreundlichkeit eine wichtige Rolle (vgl. Bieker & Selz 2006). Aus Sicht von Investoren und Betreibern steht die technische Zuverlässigkeit des Systems im Vordergrund, insbesondere bei der Aufbereitung von Grauwasser zur häuslichen Wasserwiederverwendung. Dazu kommen Faktoren des Personalaufwandes, die sowohl hinsichtlich der Qualitätssicherung als auch aus ökonomischer Sicht von Bedeutung sind. Wie in der ökologischen Bewertung werden auch im Rahmen der soziokulturellen Bewertung Kriterien angesetzt, die nur für einzelne Stoffströme von Relevanz sind. Die ‚betriebssichere Wasserversorgung‘ ist nur für die Stoffströme Trinkwasser und Grauwasser - zur Wiederverwendung als häusliches

²¹ Bei den Termini handelt es sich um veraltete Begriffe. Mit der Änderung des Gesetzes zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Beseitigung von Abfällen (Kreislaufwirtschaft- und Abfallgesetz) vom 15.7.2006 (BGBl. I S. 1619) wurden die Begriffbestimmungen im deutschen Abfallrecht an das EU-Recht angepasst. Die „besonders überwachungsbedürftigen Abfälle“ werden nun als „gefährliche Abfälle“ bezeichnet, alle übrigen Abfälle sind „nicht gefährliche Abfälle“. Da es sich bei den Angaben in Tabelle 2 um ein Zitat einer Veröffentlichung aus dem Jahr 2006, werden die ursprünglichen Termini verwendet.

Brauchwasser - relevant, entsprechend die betriebssichere Abwasser- und Abfallentsorgung für die Outputströme des Systems. Dagegen werden Kriterien wie die Betriebssicherheit der verschiedenen Stoffstrombehandlungen oder die Nutzerfreundlichkeit auf alle Ver- und Entsorgungsmodule (Wasserversorgung, Abwasserreinigung, Abfall- und Klärschlammbehandlung) angewendet.

Tabelle 3: Soziokulturelle Kriterien zur Bewertung vollintegrierter semizentraler Systeme (nach BMBF 2006)

Soziokulturelle Kriterien zur Bewertung vollintegrierter semizentraler Systeme	
<i>Aus Sicht der Nutzer</i>	
	Nutzerfreundlichkeit durch einfache Bedienung
	Transparenz des Systems
	Sicherung des Status-Quo in Sachen Komfort
	betriebssichere Abwasserentsorgung
	betriebssichere Wasserversorgung
	betriebssichere Abfallbehandlung
<i>Aus Sicht der Investoren/ Betreiber</i>	
	Systemtoleranz gegenüber Mengenschwankungen
	Systemtoleranz gegenüber Bedienungsfehlern
	Personalaufwand
	Zeitintensität bei Betrieb und Wartung
	Qualitätsintensität bei Betrieb und Wartung

Die ökonomische Bewertung erfolgt mit Hilfe einer Kostenvergleichsrechnung nach LAWA, wobei eine betriebsgewöhnliche Nutzungsdauer von 25 Jahren zu Grunde gelegt wird und Restwerte berücksichtigt werden. Insgesamt finden in den unterschiedlichen Stoffstrombetrachtungen verschiedene Kosten der Kategorien (Re)Investition, Betrieb und Unterhalt Berücksichtigung (vgl. Tabelle 4). Die ermittelten Vergleichswerte für die verschiedenen Aufbereitungs- und Behandlungsverfahren werden als Kosten pro Einwohner angegeben.²²

²² Grundlegende Informationen zur Durchführung einer Kostenvergleichsrechnung nach LAWA im Allgemeinen sind LAWA 2005 zu entnehmen. Zu detaillierten Informationen zur Ermittlung der Kosten im Anwendungsfall Semizentral, erste Generation vgl. (BMBF 2006).

Tabelle 4: Ökonomische Kriterien zur Bewertung vollintegrierter semizentraler Systeme (nach BMBF 2006)

	Trink- wasser- aufbereitung ¹	Grau- wasser- behandlung ¹	Schwarz- wasser- behandlung	Abfall- und Klärschlamm- behandlung ²
Bautechnik	✓	✓	✓	✓
Maschinen- und Anlagentechnik	✓	✓	✓	✓
Sammelfahrzeuge				✓
Kanal- bzw. Drucknetz	✓	✓	✓	
Pumpstationen inkl. Pumpen	✓	✓	✓	
Speicher	✓	✓		
Zusatz- und Hilfsstoffe	✓	✓	✓	
Personal	✓	✓	✓	✓
Instandsetzung und Wartung	✓	✓	✓	✓
Energiebedarf Anlage	✓	✓	✓	✓
Energiebedarf Transporte	✓	✓	✓	✓
Bodenpreis	✓	✓	✓	✓

✓ Kriterium berücksichtigt

¹ inkl. Verteilung² inkl. Sammlung

Methodisches Vorgehen

Die Bewertung der Behandlungs- und Aufbereitungsverfahren erfolgt zweistufig: zunächst werden stoffstromübergreifend die Wasserversorgung (Aufbereitung der Stoffströme Trink- und Brauchwasser), die Abwasserbehandlung (Behandlung der Stoffströme Grau- und Schwarzwasser) und die Abfallbehandlung (integrierte Behandlung der Stoffströme Bio- und Restabfälle sowie Klärschlämme) getrennt voneinander bewertet. Um Aussagen über die vollintegrierten Ver- und Entsorgungssysteme treffen zu können, werden die Bewertungen der Wasserversorgung, der Abwasserreinigung und der Abfallbehandlung in einem zweiten Schritt zusammengeführt. Die empfehlenswerte Größe liegt im Schnittpunkt aller drei Zielfunktionen (ökonomisch, ökologisch und soziokulturell), so dass jeder Teilbereich gleichwertige Berücksichtigung findet.

3.3 Ergebnisse: Der Ansatz vollintegrierter semizentraler Ver- und Entsorgungssysteme

Wie bereits in Kapitel 3.2 dargestellt, ist die Bewertung in drei zunächst voneinander unabhängige Bereiche gegliedert. Die Einzelergebnisse der ökologischen, ökonomischen und der soziokulturellen Bewertung werden mittels ordinaler Skalen (Schulnotenprinzip, je kleiner der Wert, desto besser die Bewertung) zusammengeführt.

Im Folgenden werden die für den Kontext dieser Arbeit wesentlichen Ergebnisse der technischen Modellierung sowie der Modellierung zur Empfehlung von Größenordnungen vollintegrierter semizentraler Systeme dargestellt. Die Modellierung bzw. Berechnung ist nicht Gegenstand dieser Arbeit. Diese wurden bereits im Endbericht des Forschungsvorhabens „Semizentrale Ver- und Entsorgungssysteme für urbane Räume Chinas – TP 1“ (BMBF 2006) veröffentlicht. Fokus dieser Arbeit ist das Verhältnis der verschiedenen Bewertungskriterien untereinander und deren Einfluss auf die bestmögliche Größe (integrierter) semizentraler Ver- und Entsorgungssysteme. Entsprechend werden diese im Folgenden dargestellt und bewertet.

3.3.1 Ergebnisse der ökologischen Bewertung

Die ökologische Bewertung ergibt hinsichtlich der empfehlenswerten Größenordnung vollintegrierter semizentraler Ver- und Entsorgungssysteme, dass kleine, kompakte Ver- und Entsorgungsgebiete zu bevorzugen sind. Die bestmögliche Bewertung hinsichtlich der Größe erhält Fall 1 mit 13.000 Einwohnern, gefolgt von 26.000 Einwohnern (Fall 2) und 52.000 Einwohnern in der kompakten Form (Fall 3b, vgl. Abbildung 16). Ausschlaggebend für dieses Ergebnis ist der Energiebedarf der Systeme: mit zunehmender Größe nimmt der Transportaufwand für die Stoffströme innerhalb des Systems zu, während die zu erzielenden Energieerträge spezifisch stabil bleiben. Insgesamt erwiesen sich von den in Kapitel 3.2.4 genannten Kriterien nur zwei als größenrelevant: Ausschließlich die Parameter ‚Flächenbedarf‘ und ‚Energiebedarf‘ verändern sich über die verschiedenen Größenordnungen. Alle anderen Kriterien der ökologischen Bewertung bleiben über die verschiedenen Größenordnungen stabil, nehmen also keinen Einfluss auf die Größempfehlung des vollintegrierten semizentralen Systems (vgl. BMBF 2006). Zur Veranschaulichung der Unterschiede zwischen den verschiedenen Fällen sind entsprechend in Abbildung 16 diese beiden größenrelevanten Parameter gemittelt aufgetragen und diese als Benotung der verschiedenen Fälle (gemittelt über die technischen Varianten) dargestellt.

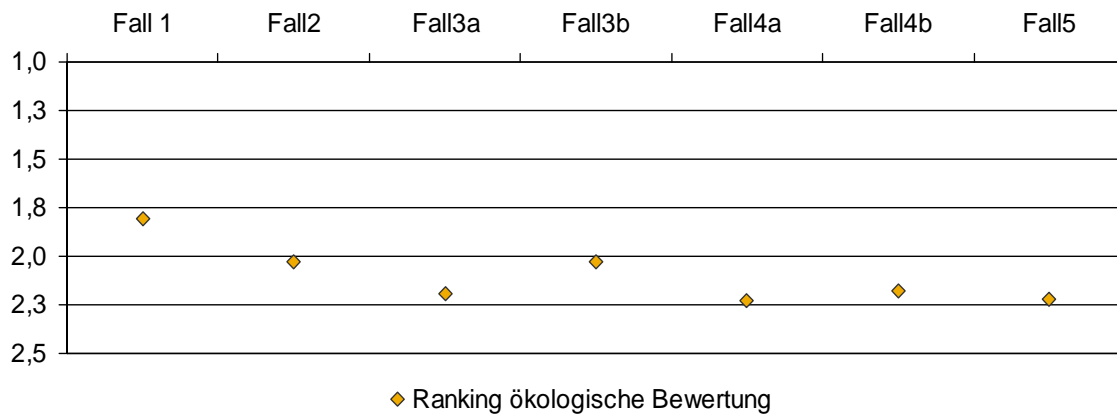


Abbildung 16: Größenrelevantes Ranking der Fälle (Systemgrößen und -zuschnitte) nach ökologischer Bewertung

Für den Vergleich der verschiedenen vollintegrierten Ver- und Entsorgungslösungen (Varianten) sind im Gegensatz dazu nahezu alle angesetzten Kriterien relevant. Lediglich der ‚Anfall besonders überwachungsbedürftiger Abfälle‘ (in keiner Variante fallen relevante Mengen entsprechender Abfälle an, vgl. dazu BMBF 2006) und die ‚Störfallreversibilität‘ (in keiner Variante ist ein potenzieller Störfall irreversibel) bleiben im Vergleich der Verfahren stabil.

Die selektive Darstellung der verfahrensrelevanten Kriterien (Abbildung 17) zeigt einen relativ stabilen Verlauf über die verschiedenen Fälle.

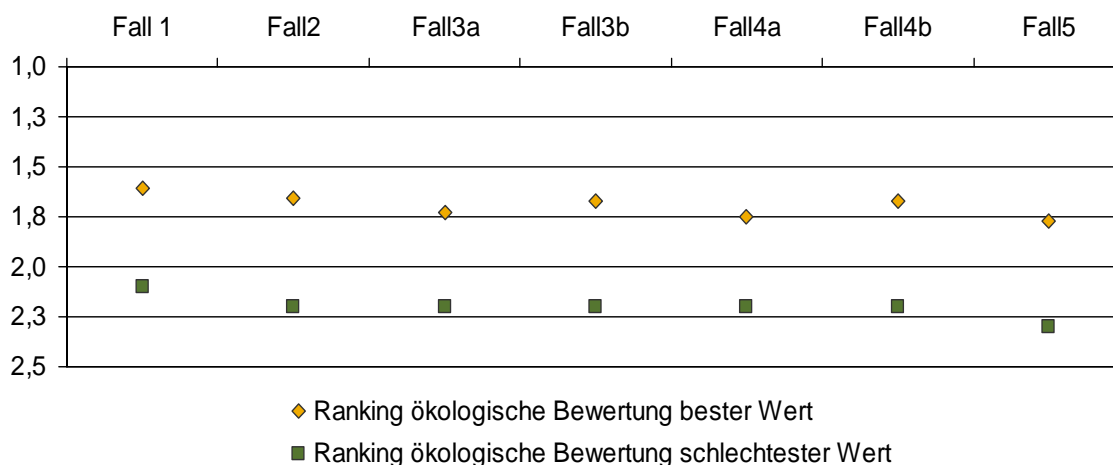


Abbildung 17: Größenrelevantes Ranking der vollintegrierten Ver- und Entsorgungslösungen (Varianten) nach ökologischer Bewertung

Die leicht positiven Tendenzen zugunsten kleinerer Fälle sind als nicht signifikant einzustufen und auch die positiven Abweichungen der kompakten Fälle vom potenziellen Trend liegen unterhalb der Signifikanzschwelle²³.

3.3.2 Ergebnisse der soziokulturellen Bewertung

Im Bereich der soziokulturellen Bewertung sind vier der angesetzten 10 Kriterien größenrelevant. Seitens der Nutzer des vollintegrierten semizentralen Systems sind die ‚Nutzerfreundlichkeit‘, die ‚Transparenz des Systems‘ sowie der ‚Komfort‘ unabhängig von der Systemgröße gesichert. Gleiches gilt für die Entsorgungssicherheit der Abwasserströme. Bei kleinen Ver- und Entsorgungsgebieten kann es aufgrund geringer Mengen und damit einhergehender Schwankungen jedoch potenziell zu Versorgungslücken mit Brauchwasser (die durch Trinkwasser zu schließen wären, also keine *tatsächlichen* Versorgungslücken) oder zu Energieproduktionsausfällen durch zeitweise fehlende Abfallmengen kommen. Von Betreiberseite spielt der Zeitaufwand für Wartung und Betrieb eine Rolle, der bei kleineren Anlagen spezifisch höher ist. Entsprechend liegt die Empfehlung der Größenordnung aus soziokultureller Sicht bei einer Systemgröße von 52.000 bis 208.000 Einwohnern (vgl. Abbildung 18). Im Gegensatz zur ökologischen Bewertung fällt in der soziokulturellen Bewertung auf, dass kompakte (3b und 4b) und bandförmige Siedlungsstrukturen gleichwertig eingestuft werden.

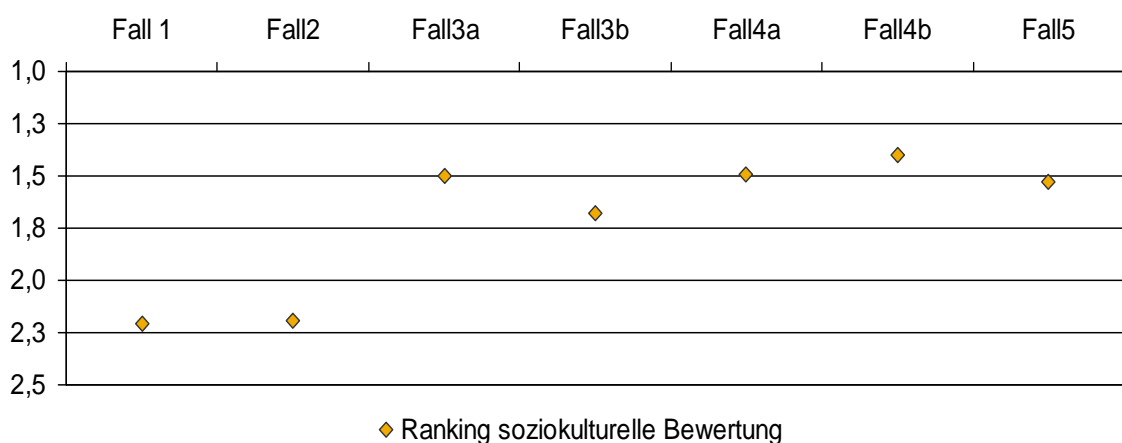


Abbildung 18: Größenrelevantes Ranking der Fälle (Systemgrößen und -zuschnitte) nach soziokultureller Bewertung

²³ Aufgrund des geringen Stichprobenumfangs wird im Rahmen dieser Arbeit von einer Irrtumswahrscheinlichkeit (= Signifikanzschwelle) von 5% ausgegangen, die in der Literatur als allgemein anerkannter Wert akzeptiert ist (Beck-Bornholdt & Dubben 2001: 47). Weitere Ausführungen zur Festlegung von Signifikanzschwellen bei Beck-Bornholdt & Dubben (2001) und Sedlmeier (1996).

Bei der Bewertung der Varianten finden bis auf die ‚permanent sichere Abwasserreinigung‘ (diese ist in jeder Variante gesichert und damit nicht ausschlaggebend für ein Ranking) alle Kriterien Anwendung. Vergleichbar mit der Betrachtung der empfehlenswerten Größenordnung liegen die Werte ab einer Größenordnung von 104.000 Einwohnern (Fälle 4a und 4b) auf einem Niveau (vgl. Abbildung 19).

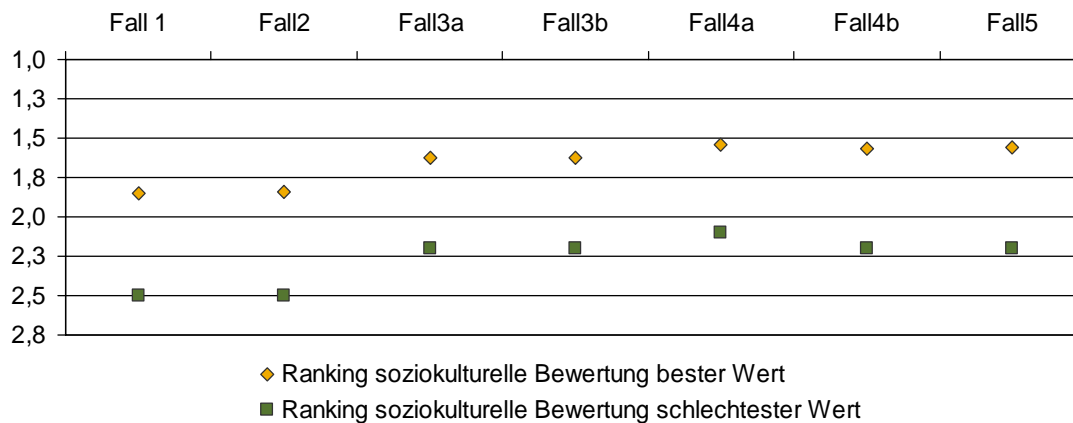


Abbildung 19: Größenrelevantes Ranking der Varianten nach soziokultureller Bewertung

3.3.3 Ergebnisse der ökonomischen Bewertung

Die ökonomische Bewertung der verschiedenen Systemgrößen folgt ebenfalls deutlichen Skaleneffekten. Je größer das vollintegrierte semizentrale Ver- und Entsorgungssystem ist, desto geringer sind die Kosten pro Einwohner und Tag (vgl. Abbildung 20). Gleichzeitig wird deutlich, dass die kompakten Systemgrößen (Fälle 3b und 4b) ebenfalls etwas günstiger sind als die bandförmigen Siedlungserweiterungen (Fälle 3a und 4a). Dies ist mit dem geringeren Transportaufwand innerhalb der kompakten Fälle zu erklären. Festzuhalten ist weiterhin, dass die prozentuale Kostenreduktion mit zunehmender Größe abnimmt. Reduzieren sich die spezifischen Kosten von Fall 1 (13.000 Einwohner) gegenüber Fall 2 (26.000 Einwohner) noch um fast 30%, liegt die Kostenersparnis bei einer Größenverdopplung des Ver- und Entsorgungssystems von 52.000 Einwohner (Fälle 3a und 3b) auf 104.000 Einwohner (Fälle 4a und 4b) nur noch bei 7% bzw. 11% und bei einer Verdopplung von 104.000 Einwohner auf 208.000 Einwohner (Fall 5) nur noch bei 11% bzw. in der kompakten Version unter 4%.

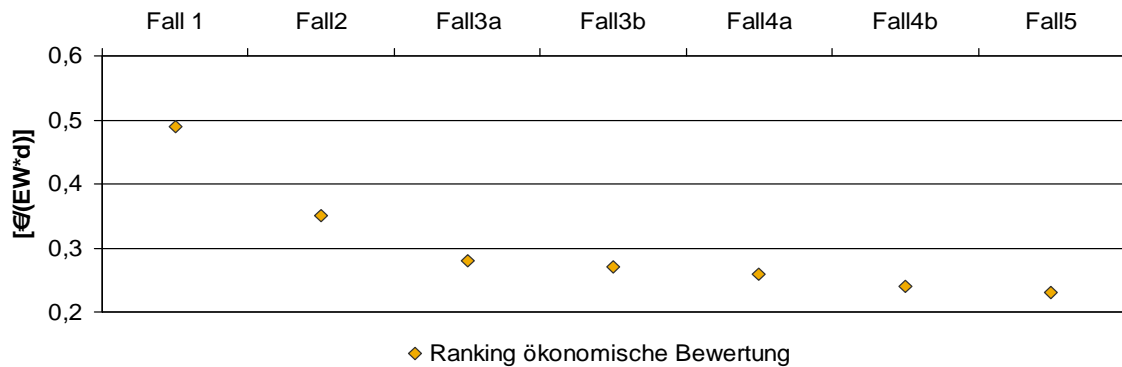


Abbildung 20: Größenrelevantes Ranking der Fälle (Systemgrößen und -zuschnitte) nach ökonomischer Bewertung

Der Vergleich der verschiedenen Varianten veranschaulicht, dass in einer ‚raumlosen Bewertung‘ (vgl. Kapitel 3.2.1), also ohne Berücksichtigung lokaler naturräumlicher, organisatorischer oder wirtschaftlicher Rahmenbedingungen, nur geringe Unterschiede in den spezifischen Kosten der vollintegrierten semizentralen Ver- und Entsorgungssysteme feststellbar sind. Abbildung 21 zeigt die spezifischen Kosten der drei teuersten und der drei günstigsten Varianten. Auch im Größenvergleich der Varianten werden die Skaleneffekte deutlich, die sich mit zunehmender Größe abschwächen. Gleichzeitig bleiben die spezifischen Kosten mit einem Unterschied zwischen 25% und 30% zwischen der teuersten und der günstigsten Variante relativ stabil.

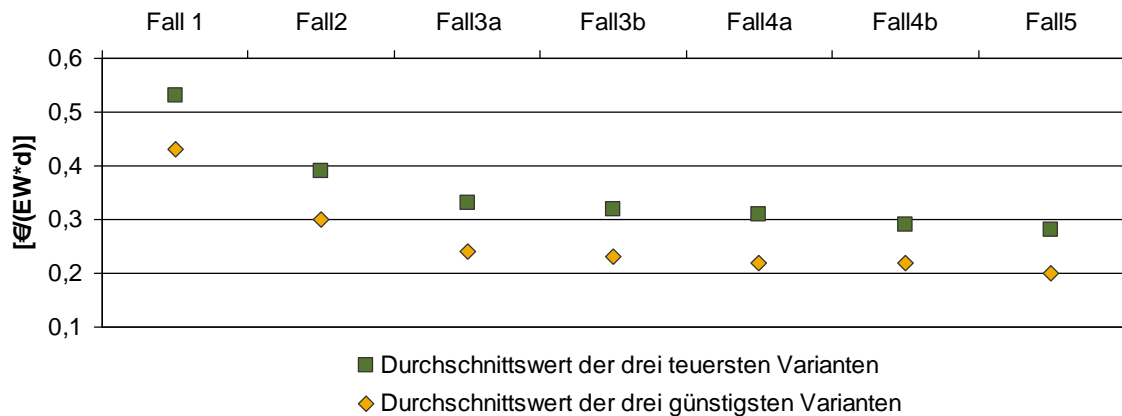


Abbildung 21: Größenrelevantes Ranking der spezifischen Kosten drei teuersten und drei günstigsten vollintegrierten Ver- und Entsorgungslösungen (Varianten) nach ökonomischer Bewertung

3.4 Ergebnisse der Gesamtmodellierung vollintegrierter semizentraler Ver- und Entsorgungssysteme

Im Folgenden werden die Einzelergebnisse der ökologischen, soziokulturellen und ökonomischen Bewertung zusammengeführt, um Aussagen über empfehlenswerte technische Modulkombinationen (Varianten) und Größenordnungen (Fälle) vollintegrierter semizentraler Ver- und Entsorgungssysteme zu treffen.

3.4.1 Zusammenführung der Einzelergebnisse der ökologischen, soziokulturellen und ökonomischen Bewertung

Um die drei Teile der Nachhaltigkeitsbewertung zusammenführen zu können, müssen die Ergebnisse der ökonomischen Bewertung, entsprechend der ökologischen und soziokulturellen Bewertungen, in eine 5-stufige ordinale Skala überführt werden. Dazu werden Grenzwerte für die einzelnen Zielerreichungsgrade definiert und die spezifischen Kosten umgerechnet. Durch die Einordnung in verschiedene Zielbereiche (unter 0,30 €/ (EW*d) entspricht der Bewertung ‚sehr gut‘, bis zu 0,50 €/ (EW*d) entspricht der Bewertung ‚gut‘ etc.), die an Erfahrungs- und Literaturwerten der technischen Disziplinen orientiert sind, ist die Aussagekraft gegenüber der Berechnung mittels Kostenvergleichsrechnung erheblich reduziert, da bspw. keine ‚Mittelwerte‘ zwischen den Bewertungsklassen abgebildet werden können.

Die Zusammenführung der drei Bewertungsbereiche ergibt für die verschiedenen Größenordnungen vollintegrierter semizentraler Systeme („Fälle“) folgendes Bild (Abbildung 22):

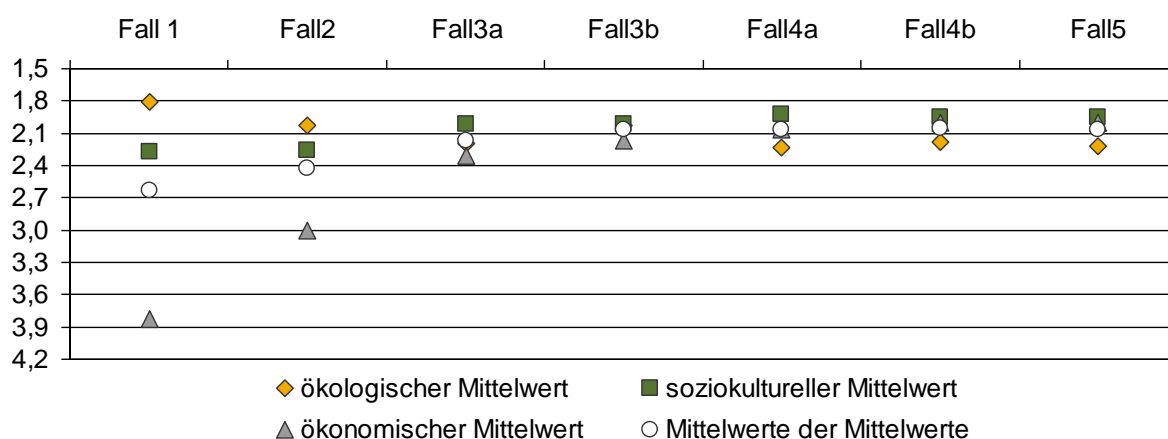


Abbildung 22: Mittelwertbildung des Systemgrößenrankings: Zusammenführung der ökologischen, soziokulturellen und ökonomischen Bewertung der „Fälle“

Die Ergebnisse der ökologischen und soziokulturellen Bewertung weisen eine relativ geringe Streuung über alle Fälle auf. Ab einer Größenordnung von 52.000

Einwohnern stabilisieren sich die Ergebnisse auf einem Niveau um die Bewertung ‚gut‘. Eine vergleichbare Stabilisierung lässt sich auch bei der ökonomischen Bewertung feststellen, obgleich die Bewertung der kleineren Systemgrößen (Fälle 1 und 2) deutlich schlechter ausfallen als bei der soziokulturellen und ökologischen Bewertung. Der Mittelwert dieser drei Bewertungen stabilisiert sich entsprechend ebenfalls ab 52.000 Einwohnern.

3.4.2 Empfehlenswerte technische Modulkombinationen

Aus der vergleichenden Modellierung der technischen Modulkombinationen sind keine Einschränkungen hervorgegangen und somit sind auf Basis der definierten Rahmenbedingungen alle Varianten vollintegrierter semizentraler Ver- und Entsorgungslösungen grundsätzlich empfehlenswert.

Folgende Ergebnisse der Bewertung lassen sich hinsichtlich des Zusammenwirkens der technischen Module in vollintegrierten semizentralen Ver- und Entsorgungssystem festhalten:

„• Die (...) untersuchten Modulkombinationen weisen nur marginale Unterschiede

hinsichtlich ihrer Eignung für semizentrale Ver- und Entsorgungssysteme auf. (...)

• Alle untersuchten (...) Varianten können grundsätzlich für den Einsatz in ‚urbanen

Räumen Chinas‘ empfohlen werden.

• Zur Auswahl der bestmöglichen Variante für einen konkreten Standort müssen größenrelevante Kriterien herangezogen und im Rahmen einer zweiten Stufe der Nachhaltigkeitsbewertung bewertet werden.“ (BMBF 2006)

Ergänzend zu den Ergebnissen der technischen Kombinierbarkeit bleibt festzuhalten, dass verschiedene Modulkombinationen einen durchschnittlichen Energiebedarf haben während andere aufgrund der im System produzierten Energie (anaerobe Behandlung) einen erheblich reduzierten gesamtsystemaren Energiebedarf aufweisen.

3.4.3 Empfehlenswerte Größenordnungen vollintegrierter semizentraler Ver- und Entsorgungssysteme

Die positiven Skaleneffekte, die im Vergleich der Größenordnung von einer Suprazelle zu zwei Suprazellen noch deutlich sind, reduzieren sich ab einer Größenordnung des Gesamtsystems von 52.000 Einwohnern deutlich. „Ab einer Größe von 52.000 Einwohnern (Fälle 3a und 3b: vier Suprazellen) ist der spezifische Nutzen einer Vergrößerung der Entwicklungseinheit im Vergleich zur nächst größeren Einheit von 104.000 Einwohnern (Fälle 4a und 4b: acht Suprazellen) nur noch marginal“ (BMBF 2006). Dennoch ist kein Optimum erkennbar, die Bewertung

unter allen drei Nachhaltigkeitsgesichtspunkten ergibt, dass ein System – unter den bis zu diesem Punkt definierten Rahmenbedingungen – (wenn auch marginal) je größer desto besser ist.

Zusammenfassend ist für die Größe vollintegrierter semizentraler Ver- und Entsorgungssysteme unter den in diesem Kontext definierten Rahmenbedingungen eine Größenordnung zwischen 52.000 und 208.000 Einwohnern grundsätzlich empfehlenswert. Da jedoch keine signifikanten Größenvorteile zwischen Fall 4b und Fall 5 deutlich werden, wird aus planerischer Sicht der kleineren Systemgröße (Fall 4) der Vorrang gegeben. Diese bietet aufgrund ihrer Größe ein höheres Potenzial, die räumlichen Herausforderungen, die aus der Monostrukturierung der Siedlungserweiterungen resultieren, planerisch zu minimieren.

Ein Einflussfaktor, der für die Entscheidung der Größe eines integrierten semizentralen Systems von nicht unerheblicher Rolle sein könnte, wurde im Rahmen der bisher dargestellten Modellierung noch nicht berücksichtigt: Die Dynamik des Zuzugs in ein neues Siedlungs(entwicklungs)gebiet. Die bisherige Bewertung vergleicht im Bereich der ökonomischen Betrachtung der spezifischen Kosten voll ausgelastete Systeme. Je größer ein System ausgelegt wird, desto länger muss das System im Unterlastbetrieb gefahren und damit von weniger Personen (bzw. durch den Investor oder Betreiber) gegenfinanziert werden. Die Berücksichtigung dieser Dynamik könnte ggf. dazu führen, dass der ökonomische ‚Vorsprung‘ in den spezifischen Kosten des Falles 5 (208.000 Einwohner) vor Fall 4 (104.000 Einwohner) relativiert würde. Dies hätte eine veränderte Empfehlung zu Gunsten kleinerer Größenordnungen zur Folge. Diesem Effekt wird u.a. im Rahmen der Untersuchungen teil-integrierter semizentraler Systeme Rechnung getragen.

Teil C

4 Der raumwissenschaftliche Ansatz – semizentrale Systeme unterschiedlichen Integrationsgrades

*Ich weiss nicht, ob es besser wird, wenn es anders wird. Aber
es muss anders werden, wenn es besser werden soll.
[Georg Christoph Lichtenberg]*

Das Konzept *Semizentral* ist auf Basis der Rahmenbedingungen schnell wachsender urbaner Räume in China entwickelt worden. Im Rahmen der zuvor ausgeführten Untersuchungen stand die Entwicklung vollintegrierter Ver- und Entsorgungslösungen für den Neubau ganzer Stadtteile bzw. großer Stadterweiterungsgebiete im Mittelpunkt der Betrachtung. Um das Potenzial des Ansatzes auch für andere Länder und auch für andere räumliche Rahmenbedingungen und Herausforderungen einsetzen zu können, ist ein weiterer Schritt unumgänglich: die Flexibilisierung des Integrationsgrades semizentraler Systeme.

Die dargestellten Größenempfehlungen beziehen sich entsprechend auf die Betrachtung eines vollintegrierten Systems aus den Modulen Trinkwasseraufbereitung, Grau- und Schwarzwasserbehandlung sowie Abfall- und Schlammbehandlung. Eine umfängliche Übertragung der dargestellten Forschungsergebnisse ist somit nur dann möglich, wenn im Anwendungsfall alle betrachteten Stoffströme (Wasserversorgung, Grau- und Schwarzwassertrennung und Behandlung, integrierte Abfall- und Klärschlammbehandlung) in einem Ver- und Entsorgungssystem berücksichtigt werden können. Wie groß wäre aber ein semizentrales Ver- und Entsorgungssystem ohne das Modul „Trinkwasseraufbereitung und -versorgung“? Grundsätzlich ist die Versorgung mit hygienisch einwandfreiem und jederzeit verfügbarem Trink- bzw. Leitungswasser sinnvoll, aber unter Umständen gesetzlich nicht innerhalb eines semizentralen Systems durchsetzbar. Oder im Anwendungsfall wird ein semizentrales Trinkwasserversorgungssystem nicht benötigt, wenn bspw. eine Siedlungserweiterung im Versorgungsbereich eines bestehenden Trinkwassernetzes mit ausreichenden Kapazitäten entstehen soll.

Auf Grundlage dieser Überlegungen wird im Weiteren eine räumliche Modellierung entwickelt, die in einem ersten Schritt die empfehlenswerten Größenordnungen der Einzelmodule ermittelt und diese in einem zweiten Schritt zu einem angepassten integrierten System zusammenführt. Dieses Vorgehen ermöglicht Aussagen über die Kompatibilität des Systems unter variierenden Rahmenbedingungen und Standortanforderungen an das benötigte technische Infrastruktursystem. Durch diesen Ansatz sollen empfehlenswerte Größenordnungen semizentraler

Ver- und Entsorgungssysteme unterschiedlichen Integrationsgrades (der verschiedenen semizentralen Systemmodule Wasserversorgung, Grauwasseraufbereitung und Brauchwasserversorgung, Schwarzwasserbehandlung und integrierte Abfall- und Klärschlammbehandlung) ermittelt werden (im Folgenden ‚teil-integrierte‘ Systeme genannt), die einen angepassten Einsatz entsprechend der räumlichen, administrativen und organisatorischen Rahmenbedingungen ermöglichen.

4.1 Die Modellgrundlage: Das System der Zentralen Orte

„Das Zentrale-Orte-Konzept hat viele Eigenschaften: Es ist ein Standort- und Vernetzungskonzept, das in erster Linie auf funktionale Standortqualitäten und deren Erreichbarkeit setzt, wobei Standort- und Erreichbarkeitsqualitäten gestaltbar sind. Es ist im Hinblick auf die Grundversorgung im Raum ein Abstimmungs- und Sicherungskonzept, das kommunale und regionale Verantwortung in idealer Weise verbinden kann. Es erlaubt, räumliche und qualitative Aspekte von der Nachfrage- wie von der Angebotsseite her zu sehen und entsprechend integrativ zu behandeln. Und nicht zuletzt bietet es sich als räumliches Modell zur Lösung von Verteilungskonflikten ebenso an wie für Kooperationslösungen.“ (Zeck 2003)

Das Zentrale-Orte-Konzept (ZOK) ist „versorgungsorientiert“ und zielt auf die „flächendeckende Versorgung der Bevölkerung mit Gütern und Dienstleistungen“ ab (Blotevogel 1996). Die vorliegende Arbeit greift dies auf und bedient sich für die Entwicklung des Raummodells Semizentral des Ansatzes der unterschiedlichen Reichweiten von Gütern und Dienstleistungen, die dem ZOK von Christaller zugrunde liegen (vgl. Kapitel 2.4). Der Modellansatz zur Untersuchung empfehlenswerter Größenordnungen teil-integrierter semizentraler Ver- und Entsorgungssysteme greift diese beiden wesentlichen Eigenschaften der Zentrale-Orte Theorie auf: die *Versorgungsorientierung* auf der einen und die *Erreichbarkeit* von Gütern bzw. Dienstleistungen auf der anderen Seite.

4.2 Der Modellansatz: Reichweiten semizentraler Systemmodule

Die *Reichweite von Gütern und Dienstleistungen* der Zentralen-Orte Theorie wird auf den Ansatz Semizentral übertragen. Im Kontext der Untersuchungen des vollintegrierten semizentralen Ansatzes wurde durch die Suprazelle die ‚Grundgröße‘ eines Marktgebietes (vollintegrierter Ver- und Entsorgungsbereich) definiert und mittels der Fallmodellierung auf unterschiedliche Systemgrößen erweitert. Die Reichweite eines Gutes beschreibt also übertragen auf die Modellierung vollintegrierter semizentraler Ver- und Entsorgungssysteme die Größe des vollintegrierten

Ver- und Entsorgungsbereiches (vgl. Abbildung 23): alle Stoffströme ver- und entsorgen ein gemeinsames Marktgebiet.

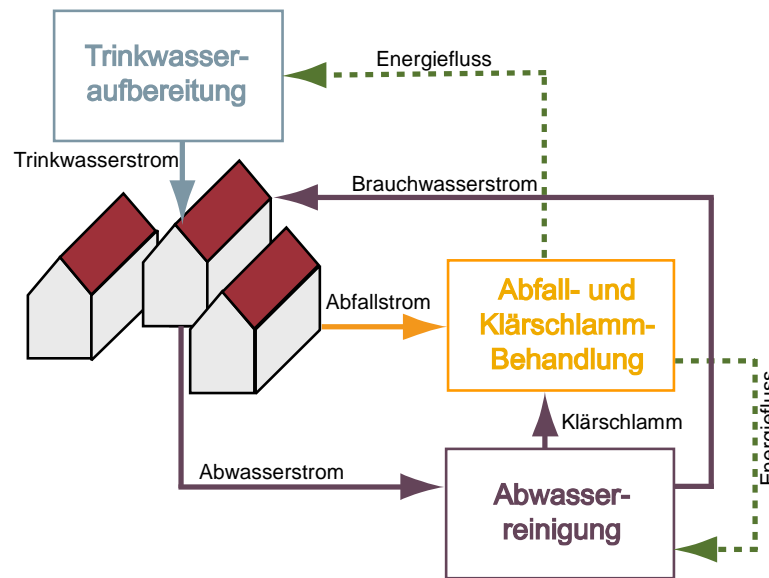


Abbildung 23: Prinzipskizze eines vollintegrierten semizentralen Systems (nach Bieker 2008)

Der vollintegrierter Ansatz berücksichtigt nur eine ‚Reichweite‘ für alle Stoffströme. Das Raummodell soll diesen Ansatz erweitern, um eine flexiblere Anpassung semizentraler Systeme an lokale und regionale Anforderungen und Rahmenbedingungen zu ermöglichen (z.B. wenn eine zentrale Wasserversorgung rechtlich vorgegeben und demnach nicht semizentral möglich ist). Entsprechend wird der Ansatz unterschiedlicher *Reichweiten bzw. Zentralitäten von Gütern und Dienstleistungen* des ZOK auf die einzelnen Module des semizentralen Systems übertragen (vgl. Abbildung 24).

Die Grundannahmen der Modellierung vollintegrierter Systeme bleiben dabei erhalten. Die verschiedenen Stoffströme werden weiterhin integriert, um mögliche Synergieeffekte auch im Rahmen teil-integrierter Systemlösungen nutzbar zu machen und eine erhöhte Ressourceneffizienz durch Wasserwiederverwendung und Energie(rück)gewinnung zu ermöglichen. Die Zusammenführung der verschiedenen Stoffströme erfolgt entsprechend nachgeordnet: Zunächst werden grundsätzlich empfehlenswerte Größenordnungen für die Einzelmodule ermittelt, danach die notwendigen Verknüpfungen zwischen den einzelnen Systemgrößen modelliert und anschließend die Schnittstellen optimiert. Abbildung 24 zeigt eine Prinzipskizze eines beispielhaften semizentralen Systems, das die flächendeckende Ver- und Entsorgung entsprechend des Christaller Ansatzes mit unterschiedlichen Marktgebietsgrößen der verschiedenen Ver- und Entsorgungsmodule realisiert.

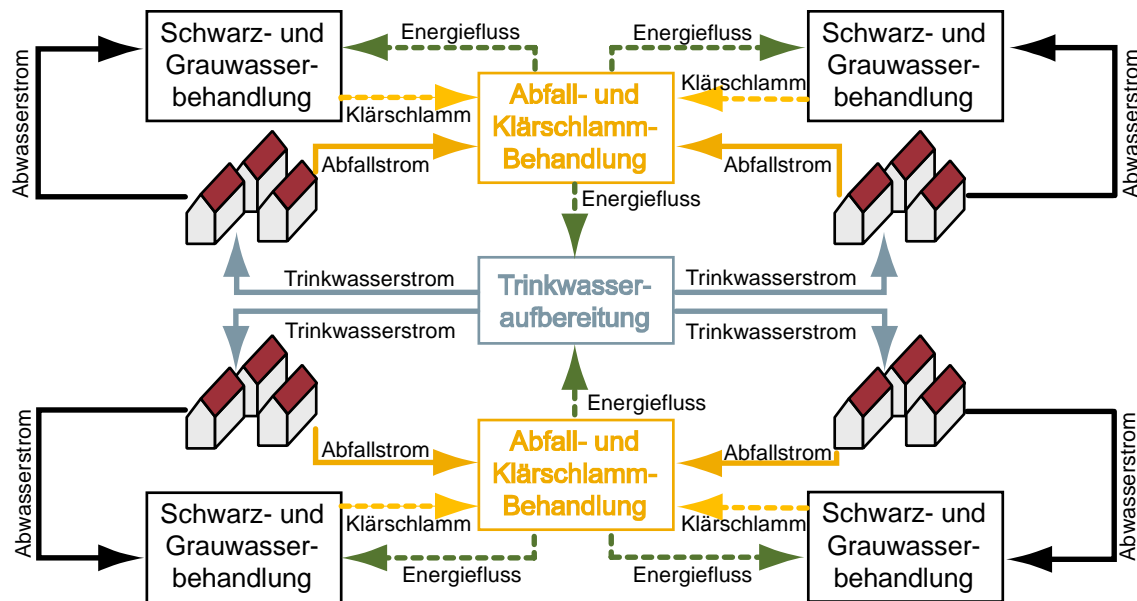


Abbildung 24: Prinzipskizze eines teilintegrierten semizentralen Systems (nach Bieker 2008)

Potenziell unterschiedliche Reichweiten verschiedener Stoffströme sind berücksichtigt. Im Falle der in Abbildung 24 beispielhaft dargestellten Prinzipskizze umfassen die empfehlenswerten Reichweiten der Grau- und Schwarzwasserbehandlung identische Gebiete von jeweils einem Siedlungsgebiet. Die Reichweite der integrierten Klärschlamm- und Abfallbehandlung ist doppelt so groß und umfasst zwei Siedlungsgebiete. Die Trinkwasserversorgung ist im Beispiel als zentrale Versorgungseinheit dargestellt.

Die Prinzipskizze geht von drei verschiedenen Marktgebietsgrößen aus. Grundsätzlich ist jedoch jede Kombination von Marktgebietsgrößen denkbar: Von vier verschiedenen Größen von Marktgebieten (für jeden der vier Stoffströme eine eigene Marktgebietsgröße bzw. Zentralitätsstufe) bis hin zu einer gemeinsamen empfehlenswerten Größenordnung für alle vier Stoffströme.

4.2.1 Methodisches Vorgehen zur Einzelempfehlung der Einzelmodulgrößen semizentraler Ver- und Entsorgungssysteme

Gegenstand der Weiterentwicklung des vollintegrierten semizentralen Ansatzes ist die Größenoptimierung der Einzelkomponenten zur Sicherung eines Baukastenprinzips²⁴ mit dem Ziel einer optimierten Anpassbarkeit an die räumlichen,

²⁴ Bausteine des Baukastens sind die Einzelmodule Trinkwasseraufbereitung und -versorgung, Grauwasseraufbereitung und Brauchwasserversorgung, Schwarzwasserbehandlung und integrierter Abfall- und Klärschlammbehandlung. Das Baukastensystem in Kontext besagt im Rahmen dieser Arbeit, dass eine Auswahl von mehreren Modulen für den Einsatz in semizentralen Ver- und Entsorgungssystemen erfolgen kann – dies aber nicht zwangsläufig alle vier Module im Rahmen

organisatorischen, infrastrukturellen und rechtlichen Rahmenbedingungen. Zur Modellierung der empfehlenswerten Größe jedes Einzelmoduls eines semizentralen Ver- und Entsorgungssystems werden zunächst die Rahmenbedingungen der Modellierung definiert. Aufbauend auf den zuvor beschriebenen Ergebnissen der Modellierung vollintegrierter semizentraler Systeme werden dann die empfehlenswerten Größenordnungen der einzelnen Systemmodule (Behandlungsverfahren für die verschiedenen Stoffströme des Systems) ermittelt. Dies erfolgt mittels einer Kostenvergleichsrechnung nach LAWA, die die größenrelevanten Systemkosten als Jahreskosten berücksichtigt (vgl. Kapitel 4.2.4). Mittels einer Kapitelwertbildung können spezifische Kosten zum Vergleich der verschiedenen Systemgrößen ermittelt werden. Abschließend erfolgt die Zusammenführung der Einzelgrößen zu einem idealisierten integrierten Ver- und Entsorgungs-Gesamtsystem.

In einem zweiten Schritt werden verschiedene Entwicklungsszenarien erstellt und modelliert. Dabei wird der Einfluss der Entwicklung des Bodenpreises, des Energiepreises und der Zuzugsgeschwindigkeiten in die neu entwickelten Siedlungseinheiten auf die empfehlenswerte(n) Größenordnungen integrierter semizentraler Systeme untersucht.

4.2.2 Rahmenbedingungen zur Einzelempfehlung der Einzelmodulgrößen semizentraler Ver- und Entsorgungssysteme

Die im Rahmen der Modellierung vollintegrierter semizentraler Ver- und Entsorgungssysteme getroffenen Annahmen bleiben für die Einzelmodellierung der Systemmodule weitestgehend bestehen (Homogenität des Raumes, flächendeckende Infrastrukturbereitstellung, Homo oeconomicus; vgl. Kapitel 3.2). Allerdings werden die Systemgrenzen der einzelnen Module verändert, um eine unabhängige Größenmodellierung der Grauwasserbehandlung und -verteilung von der Trinkwasseraufbereitung und -verteilung zu ermöglichen. Im Einzelnen umfassen die Module folgende Komponenten:

Wasserversorgung

- Aufbereitung des Rohwassers zu Trinkwasser
- Verteilung im Druckleitungsnetz

Grauwasserbehandlung

- Sammlung des häuslichen Grauwassers und Transport zur Aufbereitung
- Aufbereitung des Grauwassers zu Brauchwasser
- Verteilung des Brauchwassers im Brauchwassernetz

eines Ver- und Entsorgungszentrums, also eine gemeinsamen Größenordnung umfassen muss. Auch die Wahl von nur zwei oder drei Modulen wäre denkbar.

Schwarzwasserbehandlung

- Sammlung der häuslichen Schwarzwasserströme und Transport zur Aufbereitung
- Behandlung des Schwarzwassers

Abfall- und Klärschlammbehandlung

- Sammlung der häuslichen Abfälle und Transport zur Behandlungsanlage
- Behandlung von Abfällen und Klärschlämmen

Die Transportwege der in der Wasseraufbereitung anfallenden Klärschlämme zur Behandlungsanlage müssen im Rahmen der Modulzusammenführung zum semizentralen Ver- und Entsorgungssystem – entsprechend der anderen Größenordnungen kalkuliert – berücksichtigt werden.

Weiterhin wird die Suprazelle (vgl. ebenfalls Kapitel 3.2) als Modellierungsgrundlage der verschiedenen Modulgrößen herangezogen.

4.2.3 Berücksichtigung neuer Erkenntnisse seit Abschluss der Betrachtungen vollintegrierter semizentraler Ver- und Entsorgungssysteme

Die Modellierung vollintegrierter semizentraler Ver- und Entsorgungssysteme wurde mit dem ersten Teil des BMBF-Forschungsprojektes „Semizentrale Ver- und Entsorgungssysteme für schnell wachsende urbane Räume Chinas“ bereits im Jahr 2006 abgeschlossen. In der Folgezeit konnten durch weitere Forschungsarbeiten der beteiligten technischen Fachgebiete zusätzliche Erkenntnisse hinsichtlich der technischen Belastbarkeit (Reliabilität) der im Rahmen vollintegrierter semizentraler Ver- und Entsorgungssysteme betrachteten Verfahren gewonnen werden.²⁵ Die für die nachfolgende Modellierung zur Größenempfehlung der Einzelmodule relevanten Erkenntnisse werden im Folgenden modulweise aufgeführt:

Trinkwasseraufbereitung (vgl. BMBF 2009)

Im Bereich der Trinkwasseraufbereitung wurden drei Verfahren zur Aufbereitung von Oberflächenwasser zur Nutzung semizentraler Trinkwassergewinnung und -versorgung untersucht. Die Aufbereitung mittels Nanofiltration bietet laut dieser Untersuchungen zum gegenwärtigen Zeitpunkt noch keine verlässliche Alternative zur Aufbereitung der benötigten Mengen in gleich bleibender Qualität. Zudem ist das Verfahren sehr energieintensiv. Es wird auf Basis dieser Erkenntnisse für die weitere Modellierung nicht berücksichtigt.

²⁵ Weitere detaillierte Ausführungen zu Versuchsaufbauten, Untersuchungsmaßstäben und Ergebnissen in BMBF (2009).

Die Ultrafiltration im dead-end wird im Rahmen der Modellierung ebenfalls nicht weiter berücksichtigt. Die Gefahr von Verblockungen durch hohe Feststoffanteile im Rohwasser wurde als zu hoch eingestuft.

Die Ultrafiltration im cross-flow Verfahren hat gute Ergebnisse in den Versuchen erzielt. Durch die Weiterentwicklung des Moduls im Laufe des ersten Teilprojektes wird der Einsatz des verbesserten cross-flow Verfahrens zum Einsatz innerhalb semizentraler Systeme und damit auch für die Einzelmodellierung als Basis der Größenempfehlung der Trinkwasserversorgung innerhalb semizentraler Systeme empfohlen.

Grauwasserbehandlung (vgl. BMBF 2009 sowie Chang 2009, *im Erscheinen*)

Nach Abschluss der Modellierungen vollintegrierter semizentraler Systeme wurden die drei im Rahmen der ersten Modellierung betrachteten biologischen Verfahren zur Grauwasserbehandlung (Biofilter, MBR und SBR) detailliert für den Einsatz großer Grauwassermengen getestet. Alle drei Verfahren erwiesen sich als grundsätzlich empfehlenswert für die definierten chinesischen Qualitätsanforderungen²⁶ zur Wiederverwendung als häusliches Brauchwasser zur Toilettenspülung. Da im Rahmen der Einzelmodellierung jedoch eine Größenempfehlung für das Modul Grauwasserbehandlung gegeben werden soll, bietet es sich an, nur eines der drei Verfahren für die Modellierung auszuwählen. Nachteile für die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf andere Verfahren sind nicht zu erwarten, da die Kostenentwicklung über die verschiedenen Größenordnungen, wenn auch auf unterschiedlichen Niveaus, für alle Verfahren vergleichbar zu erwarten sind (parallele Kostenentwicklungen). Ein Verfahrensvergleich ist vor dem Hintergrund der ausschließlichen Berücksichtigung der größenrelevanten Kosten (vgl. Kapitel 4.2.4) als nicht zielführend einzustufen, da das Verhältnis von spezifisch stabilen und variablen Kostenanteilen bei verschiedenen Verfahren durchaus differieren kann (bspw. höherer Energiebedarf der Anlage beim MBR als beim Biofilter), so dass der Verfahrensvergleich mit größenrelevanten Kosten zu Verzerrungen in der Kostenrealität verschiedener Verfahren führen könnte.

Entsprechend wird ein Verfahren ausgewählt, das sowohl in der Grau- als auch in der Schwarzwasserbehandlung modelliert werden kann. Dem Biofilter wird daher

²⁶ Laut nationalem technischen Standard zur Brauchwasserqualität in innerstädtischer Wiederverwendung der Volksrepublik China [GB/T 18980-2002] sind für den Einsatz zur Toilettenspülung folgende ausgewählte Parameter mit zugeordneten Grenzwerten einzuhalten. Trübung [NTU] ≤ 5 ; BSB5 [mg/l] ≤ 10 ; NH₄-N [mg/l] ≤ 10 ; anionische Tenside [mg/l] ≤ 1 ; Coliforme [1/L] ≤ 3 . Im Vergleich dazu: Die EU Richtlinie 76/160/EWG, die als Rahmengesetz in Deutschland herangezogen wird, gibt für Gesamtkoliforme Bakterien einen Grenzwert von ≤ 100 /ml und für fäkalkoliforme Bakterien einen Grenzwert von ≤ 10 /ml an.

und aufgrund der verlässlichen Datenlage im Rahmen dieser Arbeit der Vorzug gegeben.

Schwarzwasserbehandlung (vgl. BMBF 2009)

Für die Aufbereitung des anfallenden Schwarzwassers wurden zwei Verfahren im Rahmen technischer Versuche untersucht. Beide, sowohl der Biofilter als auch der MBR, können den Anforderungen an Aufbereitungsqualität und -verlässlichkeit standhalten und für den Einsatz in semizentralen Ver- und Entsorgungssystemen empfohlen werden. Entsprechend der Argumentation bei der Grauwasserbehandlung wird auch in der Schwarzwasserbehandlung nur das Verfahren ‚Biofilter‘ für die nachfolgende Einzelmodellierung berücksichtigt.

Abfall- und Klärschlammbehandlung (vgl. BMBF 2009)

Alle im Kontext vollintegrierter semizentraler Ver- und Entsorgungssysteme betrachteten Varianten der Aufbereitung von Bioabfällen, Restabfällen und Klärschlämmen sind technisch verlässlich und theoretisch einsetzbar. In der Praxis ist die getrennte Sammlung und Behandlung von Rest- und Bioabfällen jedoch nur in den wenigen Fällen sinnvoll, in denen ein Marktabnehmer für den hochwertigeren Systemoutput vor Ort existiert. Grundsätzlich ist in hoch verdichteten urbanen Räumen jedoch davon auszugehen, dass die Abfälle und Schlämme einer Deposition zugeführt werden (müssen) und daher vorrangig einer Ausschleusung nicht-biogener Wertstoffe, einer biologischen Stabilisierung und einer Volumenverringerung bedürfen. Entsprechend ist eine getrennte Behandlung von Rest- und Bioabfällen mit entsprechend höherem Material- und Energieaufwand nicht erforderlich und wird daher für die nachfolgende Modellierung nicht weiter verfolgt.

Die in der Entwicklung vollintegrierter semizentraler Systeme betrachteten anaeroben Verfahren sind (rein rechnerisch) in der Lage, den Energiebedarf aller Aufbereitungs- und Behandlungsschritte innerhalb des VEZ (also Trinkwasseraufbereitung, Grau- und Schwarzwasserbehandlung, integrierte Klärschlamm- und Abfallbehandlung) zu decken (Bieker et al. 2009). Angesichts der positiven CO₂-Bilanz und der Möglichkeit einer gesicherten autarken Energieversorgung wird von den betrachteten aeroben Verfahren Abstand genommen und für die Einzelmodellierung lediglich das anaerobe Behandlungsverfahren berücksichtigt.

4.2.4 Kriterien zur Ermittlung der empfehlenswerten Größenordnung der einzelnen Verfahren zur Stoffstrombehandlung

Die Evaluierung der Bewertung vollintegrierter semizentraler Ver- und Entsorgungssysteme hat gezeigt, dass nicht alle berücksichtigten Kriterien für die Ermitt-

lung der empfehlenswerten Größenordnung(en) relevant sind. Zur Überprüfung der Größenempfehlung potenziell teil-integrierter Systeme werden ausschließlich größenrelevante Kriterien berücksichtigt. So werden spezifisch stabile Kriterien wie bspw. der CO₂-Ausstoß durch die Behandlung nicht berücksichtigt, da dieser proportional zur Einwohnerzahl steigt und folglich nicht größenrelevant ist. Dieses Vorgehen reduziert die Gesamtzahl der anzusetzenden Kriterien im Vergleich zur Bewertung vollintegrierter semizentraler Systeme (in denen auch eine Empfehlung hinsichtlich technischer Systemvarianten erfolgte).

Im Rahmen der soziokulturellen Bewertung erwiesen sich in der ersten Modellierung nur drei Kriterien als größenrelevant: die ‚Nutzerfreundlichkeit‘, die ‚Transparenz des Systems‘ sowie der ‚Komfort‘. Aufgrund der Subjektivität dieser Einschätzungen wird von einem erneuten Einsatz dieser Kriterien im Rahmen der Einzelmodulbetrachtung Abstand genommen. Vielmehr werden diese als einzuhaltende Zielvorgaben für semizentrale Ver- und Entsorgungssysteme definiert, die in jedem Fall einzuhalten sind.

Auch die ökologischen Bewertungskriterien werden für die Einzelmodulbetrachtung reduziert: Nur zwei der ursprünglich 14 Kriterien sind für einen Größenvergleich relevant und werden demnach in der Bewertung berücksichtigt: der Flächenbedarf der Anlagen und die Energiebilanz.

Entsprechend dem Vorgehen in der ökologischen und der soziokulturellen Bewertung werden auch in der ökonomischen Bewertung lediglich größenrelevante Kriterien berücksichtigt. Die im Einzelnen anzusetzenden Kriterien sind in Tabelle 5 getrennt nach Stoffströmen dargestellt.

Tabelle 5: Kriterien der ökonomischen Bewertung zur Größenempfehlung der Einzelmodule semizentraler Ver- und Entsorgungssysteme

	Trink- wasser- aufbereitung ¹	Grau- wasser- behandlung ¹	Schwarz- wasser- behandlung ²	Abfall- und Klärschlamm- behandlung ²
Bautechnik	✓	✓	✓	✓
Maschinen- und Anlagentechnik	✓	✓	✓	✓
Sammelfahrzeuge				✓
Kanal- bzw. Drucknetz	✓	✓	✓	
Pumpstationen inkl. Pumpen	✓	✓	✓	
Speicher	✓	✓		
Zusatz- und Hilfsstoffe	✗	✗	✗	
Personal	✗	✗	✗	✗
Instandsetzung und Wartung	✓	✓	✓	✓
Energiebedarf Anlage	✗	✗	✗	✗
Energiebedarf Sammlung				✗
Energiebedarf Transporte	✓	✓	✓	✓
Bodenpreis	✓	✓	✓	✓

✓ **größenrelevantes Kriterium,**
daher berücksichtigt

✗ **nicht größenrelevantes Kriterium,**
daher nicht berücksichtigt

¹ inkl. Verteilung

² inkl. Sammlung

Die Berechnung reduziert sich um die Kosten für Zusatz- und Hilfsstoffe, Personalkosten und den Energiebedarf der jeweiligen Behandlungs- bzw. Aufbereitungsanlage, da diese im Rahmen der Modellierung vollintegrierter semizentraler Systeme als einwohnerspezifische Kosten angesetzt wurden (vgl. auch nachfolgende detaillierte Ausführungen nach Stoffströmen). Im Bereich der integrierten Abfall- und Klärschlammbehandlung bleiben zudem die Sammlung (Transporte innerhalb der einzelnen Zellen) sowie der Ferntransport zur Deponierung der Reststoffe unberücksichtigt, da diese ebenfalls größenspezifisch zunehmen bzw. einen stabilen Wert darstellen. Relevant für den Größenvergleich sind lediglich die Transporte zwischen den Zellen, also vom Sammlungspunkt zur semizentralen Behandlungsanlage.

Das Berechnungsergebnis liefert somit ein Kostenranking der verschiedenen Verfahren im Größenvergleich. Eine Kostenermittlung der verschiedenen Einzelverfahren in den verschiedenen Systemgrößen ist damit nicht mehr möglich, die veranschlagten Kosten dienen vielmehr als metrische Skalierung des Rankings. Tatsächlich anzusetzende Kosten für den Einsatz von Aufbereitungs- und Behandlungsverfahren hängen jedoch ohnehin in großem Maße von regionalen Rahmen-

bedingungen am Einsatzort ab, so dass der fehlende Realkostenvergleich keine Nachteile für die Einzelmodulbetrachtung mit sich bringt.

Aufgrund des entstehenden Ungleichgewichtes von zwei Kriterien im Bereich der ökologischen Bewertung und acht Kriterien für die ökonomische Bewertung, werden, anders als im Rahmen der Modellierung vollintegrierter semizentraler Systeme, keine getrennten Bewertungen für Ökologie und Ökonomie durchgeführt. Eine Gleichgewichtung von Ökologie und Ökonomie (zu jeweils 50%) würde eine Überhöhung der ökologischen Kriterien verursachen (zwei Kriterien seitens der Ökologie (jeweils 25%) und acht seitens der Ökonomie (jeweils 6,25%)). Daher werden die ökologischen Kriterien in die ökonomische Bewertung integriert (Internalisierung der ökologischen Kosten), indem die Kosten für den Energie- und Flächenbedarf der unterschiedlichen Verfahren in den verschiedenen Systemgrößen berücksichtigt werden. In diesem Zusammenhang werden folgende Annahmen getroffen:

1. Bodenpreis von 200 €/ m²

Das semizentrale Ver- und Entsorgungszentrum (VEZ) ist im direkten räumlichen Umfeld des Siedlungsgebietes verortet. Es ist daher davon auszugehen, dass für das Grundstück des VEZ ortsübliche Bodenpreise für Wohnbauland kalkuliert werden müssen.²⁷ Selbst wenn der Boden zu einem geringeren Preis erworben werden könnte, müssten die potenziellen Verluste durch die Nicht-Realisierung von Wohnraum und der damit verbundenen Rendite auf dieser Fläche berücksichtigt werden.

Um den Einfluss des Bodenpreises auf das semizentrale Ver- und Entsorgungssystem zu untersuchen, wird zudem in einem Alternativszenario ein Bodenpreis von 500 €/ m² angesetzt.

2. Industrieüblicher Energiepreis von 10ct/ kWh

Ebenso wie in der Modellierung vollintegrierter semizentraler Ver- und Entsorgungssysteme wird ein in der Industrie üblicher Kalkulationspreis von

10 ct/ kWh angesetzt. Um die zu erwartenden Energiepreissteigerung während des 25-jährigen Betrachtungszeitraumes des semizentralen Ver- und Entsorgungssystems darstellen zu können, werden die Energiekosten in zwei Alternativszenarien mit Preissteigerungsraten von jährlich 5% bzw. 10% belegt und deren Einfluss auf die Größe und die verschiedenen Verfahren innerhalb des Systems untersucht.

²⁷ Der angesetzte Bodenpreis beruht auf aktuellen Marktpreisen in neuen Siedlungsentwicklungsgebieten in der Stadt Qingdao in der Volksrepublik China.

Die ökonomische Bewertung erfolgt, wie auch im Rahmen der Bewertung vollintegrierter semizentraler Ver- und Entsorgungssysteme, anhand einer Kostenvergleichsrechnung gemäß der KVR-Richtlinie nach LAWA.

Die einzelnen im Rahmen der Einzel-Größenmodellierung berücksichtigten Kriterien werden im Folgenden nach Modulen getrennt erläutert.

Trinkwasseraufbereitung

Bei der Trinkwasseraufbereitung werden alle größenrelevanten ökonomischen Kriterien der Modellierung vollintegrierter semizentraler Ver- und Entsorgungssysteme angesetzt. Im Einzelnen sind dies die Kosten für die Anlage und das Verteilnetz, die Pumpen, die Pumpstation und die Trinkwasserspeicherung sowie die Instandhaltung und die Wartung der Bau- und Maschinentechnik. Hinzu kommt der Energiebedarf für die Pumpen. Der Energiebedarf für die Anlage ist spezifisch stabil, also nicht größenrelevant, und fließt daher nicht als Bewertungskriterium ein. Hinzu kommen die Kosten für den Grunderwerb, die in der Modellierung vollintegrierter semizentraler Systeme noch keine Berücksichtigung fanden. Da es sich bei dem Ansatz Semizentral grundsätzlich um siedlungsnahe Grundstücke handelt, durch die potenzieller Wohnraum verloren geht, wird das Kriterium Flächenverbrauch bzw. Kosten für Flächenbedarf zusätzlich berücksichtigt.

Grauwasser- und Schwarzwasserbehandlung

Zur Ermittlung der empfehlenswerten Größenordnung(en) werden für die Grau- und Schwarzwasserbehandlung nahezu identische Kriterien angesetzt. Im Bereich der Investitionskosten sind die Kosten für die Anlagen, die Maschinentechnik und die Grauwasserspeicherung enthalten. Darüber hinaus sind die Kosten für das Kanal- und Drucknetz (Grauwasserableitung und Brauchwasserzuleitung) sowie die jeweiligen Pumpen enthalten. Als dritter Kostenfaktor wird, wie in der Trinkwasseraufbereitung, der Flächenbedarf der Anlage über den Bodenpreis berücksichtigt. In die Betriebs- und Unterhaltungskosten fließen die Energiekosten für die Pumpsysteme sowie Instandsetzungs- und Unterhaltungskosten ein. Der Energiebedarf der Anlagen ist einwohnerspezifisch definiert und somit nicht größenrelevant.

Abfall- und Klärschlammbehandlung

Die Größenmodellierung der Abfall- und Klärschlammbehandlung berücksichtigt neben den Kosten für den Grunderwerb die Sammelfahrzeuge, den maschinen- und den bautechnischen Teil der Aufbereitung sowie für die Betriebs- und Unterhaltungskosten. Letztere umfassen entsprechend der Modellierung vollintegrierter semizentraler Ver- und Entsorgungssysteme die Kosten für Instandsetzung und Wartung. Hinzu kommen die Energiekosten für Sammlung und Transport, wobei

lediglich die Transportwege von den Rändern der einzelnen Zellen zum Ver- und Entsorgungszentrum entsprechend der räumlichen Anordnung variieren und damit größenrelevant sind. Der Abfalltransport innerhalb der einzelnen Zellen (Sammlung) ist ebenso spezifisch stabil wie der Ferntransport der behandelten Mengen zur Deponierung, weshalb beide Kriterien im Rahmen der Einzel-Größenmodellierung keine Berücksichtigung finden.

4.3 Ergebnisse – Größenempfehlungen der Einzelmodule semizentraler Ver- und Entsorgungssysteme

Die Ergebnisse der Einzelmodulbetrachtungen werden in drei Teilen dargestellt. Der erste Teil umfasst die Ergebnisse der Größenmodellierung anhand der dargestellten größenrelevanten Kriterien. Diese erfolgt jeweils getrennt nach Modulen. Der zweite Teil umfasst eine Sensitivitätsprüfung in Form zwei verschiedener Entwicklungsszenarien. Gegenstand dieses Teils ist die Überprüfung des Einflusses des Boden- und des Energiepreises auf die empfehlenswerte Größenordnung semizentraler Systeme. Untersucht werden diese getrennt nach Modulen, um potenzielle Unterschiede sichtbar zu machen. Die daraus gewonnenen Erkenntnisse bilden die Grundlage einer folgenden Größenempfehlung für integrierte semizentrale Ver- und Entsorgungssysteme.

Einen weiteren variablen Faktor stellt die Systemdynamik dar. Verschiedene Szenarien hinsichtlich Zuzugsgeschwindigkeiten in Siedlungsneubaugebiete werden einander gegenübergestellt. Deren Einfluss auf die Kostenbildung wird schließlich im dritten Teil untersucht: Die unter Vollastbedingungen ermittelten Kostenrankings werden einem dynamischen Zuzug (der Nutzer ins Siedlungsgebiet) und damit einer über die Zeit zunehmenden Auslastung unterworfen, um auch diesen Faktor hinsichtlich der Größenempfehlung integrierter semizentraler Systeme einschätzen zu können.

4.3.1 Ergebnisse der Größenmodellierung mittels größenrelevanter Systemkosten

Im Folgenden wird der Fokus auf die Darstellung der Ergebnisse der Größenmodellierung gelegt. Zugehörige Datenblätter sind dem Anhang bzw. den angegebenen Quellen zu entnehmen.

4.3.1.1 Ranking der verschiedenen Größenordnungen semizentraler Trinkwasseraufbereitung und -versorgung

Der Modellierung liegen im ersten Schritt stabile Energiepreise von 0,1 €/ kWh und ein Bodenpreis von 200 €/ m² zugrunde. Die Abschreibungszeit ist auf 25 Jahre angesetzt.

Abbildung 25 zeigt das sich für die Trinkwasseraufbereitung mittels Ultrafiltration im cross-flow Verfahren unter den definierten Rahmenbedingungen ergebende Größenranking.

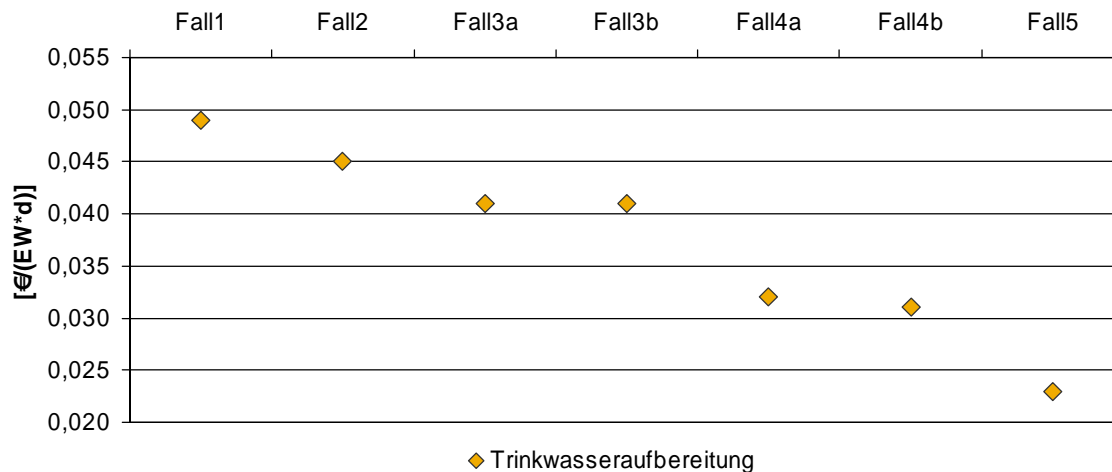


Abbildung 25: Entwicklung der spezifischen größenrelevanten Kosten in der Trinkwasseraufbereitung mittels Ultrafiltration im cross-flow Verfahren über die verschiedenen semizentralen Systemgrößen (Fälle)

Über den gesamten untersuchten Größenverlauf nehmen die spezifischen Kosten kontinuierlich ab, d.h. mit Zunahme der Systemgröße verringern sich die Kosten pro Einwohner. Während die spezifischen Kosten im Ranking um knapp 8% bzw. 10% zwischen den kleinen Systemgrößen bis 52.000 Einwohner sinken, verringern sie sich in den oberen Systemgrößen noch stärker: die Reduktion zwischen Fall 3a und Fall 4a liegt bei über 23%, im Vergleich der Fälle 4a und 5 sogar bei über 27% - im Vergleich der spezifischen größenrelevanten Kosten. Dies ist auf deutliche positive Skaleneffekte sowohl im Bereich der Investitionskosten als auch bei den Betriebskosten zurückzuführen.

Im Größenvergleich wird zudem deutlich, dass bei der Ultrafiltration im cross-flow Verfahren die Zahl der angeschlossenen Einheiten eine deutlich wichtigere Rolle spielt als die Siedlungsstruktur. Die Unterschiede zwischen den a- und b-Fällen sind nur sehr gering und mit unter 2% bzw. unter 3% als nicht signifikant einzustufen.

4.3.1.2 Ranking der verschiedenen Größenordnungen semizentraler Grauwasserbehandlung und Brauchwasserversorgung

Zunächst werden die größenrelevanten Kosten für die Grauwasserbehandlung zur innerstädtischen Wasserwiederverwendung innerhalb semizentraler Ver- und Entsorgungssysteme betrachtet. Abbildung 27 veranschaulicht die Entwicklung der spezifischen größenrelevanten Kosten über die verschiedenen semizentralen Systemgrößen (Fälle).

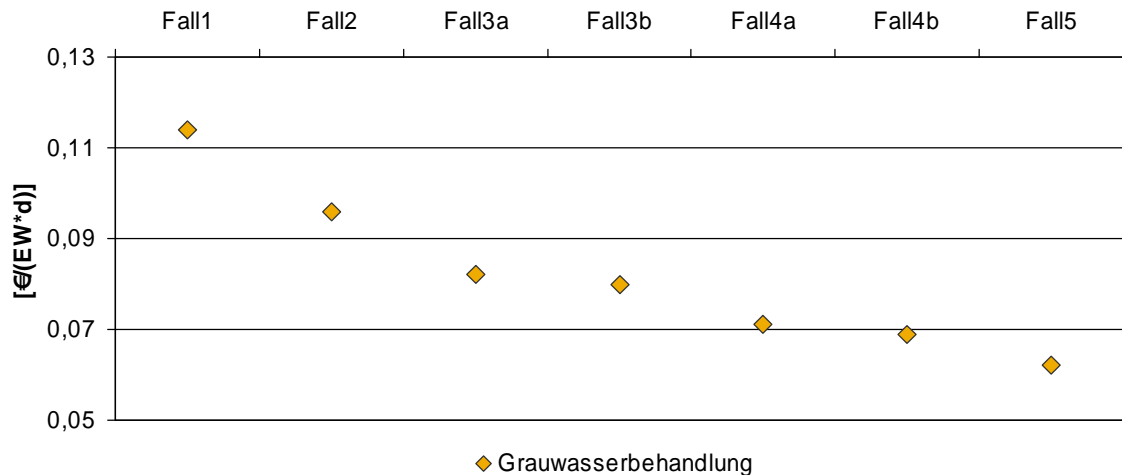


Abbildung 26: Entwicklung größenrelevanter spezifischer Kosten in der Grauwasserbehandlung mittels Biofilter über die verschiedenen Fälle

Unter den standardisierten Rahmenbedingungen stabiler Energiepreise über die Gesamtlaufzeit von 25 Jahren und einem angenommenen Bodenpreis von 200 €/m² nehmen die spezifischen Kosten der Grauwasserbehandlung mittels Biofilter mit zunehmender Größe des Versorgungsgebietes ab (vgl. Abbildung 26). Auch hier sind deutlich positive Skaleneffekte sichtbar, die sich jedoch entgegen dem Trend im Bereich der Wasserversorgung mit zunehmender Systemgröße verringern: Während die Kostenreduktion von Fall 1 zu Fall 2 noch bei fast 16% liegt, verringert sich diese auf knapp 14,5% von Fall 2 auf Fall 3a. Zur nächsten Systemgröße 4 liegt die Kostenersparnis der größenrelevanten Kosten bereits unter 13%, vergleichbar mit der Verringerung von Fall 4 zu Fall 5. Insgesamt bleibt jedoch festzuhalten, dass die größenrelevanten Kosten für das größte System (Fall 5) bei lediglich 54% der für die kleinste Systemgröße (Fall 1) anzusetzenden größenrelevanten Kosten liegen.

Die Relevanz der Siedlungsstruktur ist mit den Ergebnissen der Wasseraufbereitung vergleichbar: Zwar sind mit knapp 2,5% Reduktion von den a-Fällen zu den b-Fällen in den größenrelevanten Kosten grundsätzliche Einsparpotenziale vorhanden, diese können aber nicht als signifikant eingestuft werden.

4.3.1.3 Ranking der verschiedenen Größenordnungen semizentraler Schwarzwasserbehandlung

Für die Aufbereitung der anfallenden Schwarzwassermengen innerhalb des semizentralen Ver- und Entsorgungssystems wird die Entwicklung der spezifischen größenrelevanten Kosten hinsichtlich der empfehlenswerten Größenordnung untersucht. Auch hier wird zunächst das Ausgangsszenario eines stabilen Energiepreises auf die Gesamtabschreibungsdauer von 25 Jahren und einem Bodenpreis von 200 €/ m² angewendet.

Der Vergleich der größenrelevanten spezifischen Kosten ergibt für den Biofilter zur Schwarzwasserbehandlung eine deutliche Tendenz hin zu großen Behandlungsmengen und Systemen: Wie Abbildung 27 veranschaulicht, verringern sich die spezifischen Kosten der Anlage samt Kanalnetz mit zunehmender Systemgröße. Die spezifische Einsparung, bezogen auf die größenrelevanten Kosten, liegt zwischen Fall 1 (13.000 Einwohner) und Fall 2 (26.000 Einwohner) bei über 14% und nimmt im Größenverlauf bis auf knapp 12% zwischen Fall 4a und Fall 5 ab. Ähnlich wie im Bereich der Grauwasserbehandlung und -versorgung sind die positiven Skaleneffekte dennoch deutlich: Die größenrelevanten spezifischen Kosten des größten Systems (Fall 5) liegt lediglich bei 59% der für die kleinste Systemgröße (Fall 1) anzusetzenden größenrelevanten Kosten.

Vergleichbar mit den Ergebnissen der Grauwasserbehandlung spielt auch bei der Schwarzwasserbehandlung mittels Biofilter die Siedlungsstruktur nur eine untergeordnete Rolle: die spezifische Kostenersparnis zwischen den bandförmigen a-Fällen und den kompakten b-Fällen liegt lediglich bei knapp 2% bzw. unter 1%.

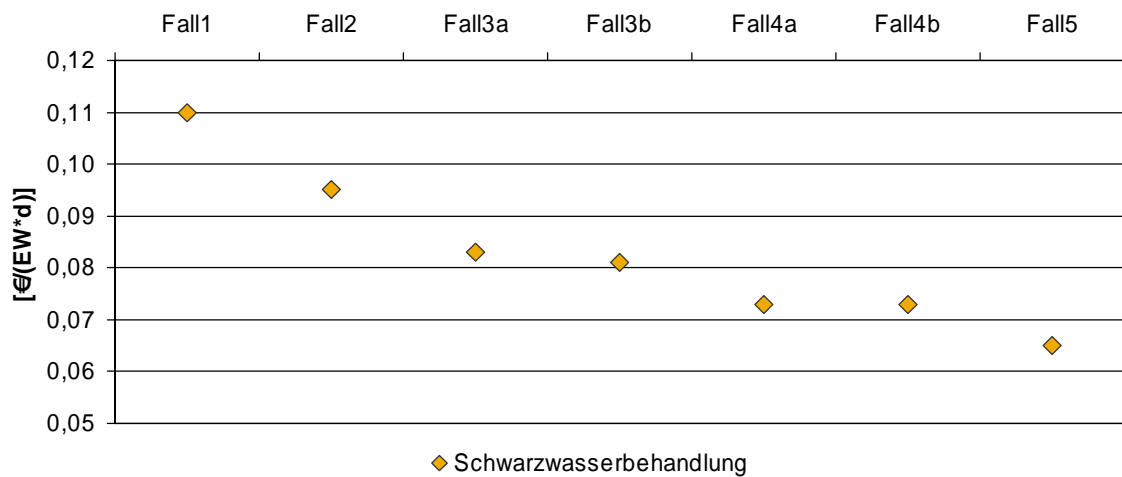


Abbildung 27: Entwicklung der spezifischen größenrelevanten Kosten in der Schwarzwasserbehandlung mittels Biofilter über die verschiedenen Fälle

4.3.1.4 Ranking der verschiedenen Größenordnungen integrierter semizentraler Abfall- und Klärschlammbehandlung

Die Einzelmodellierung der Systemkomponenten semizentraler Ver- und Entsorgungssysteme ergibt für die integrierte Behandlung von Bio- und Restabfällen mit den innerhalb des semizentralen Systems entstehenden Klärschlämmen mittels anaerober mechanisch-biologischer Abfallbehandlung folgendes Größenranking.

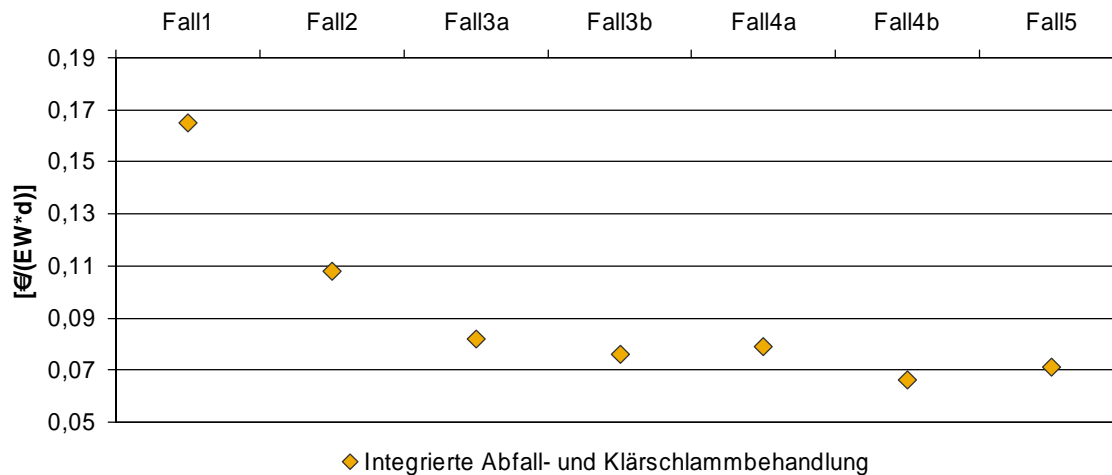


Abbildung 28: Entwicklung der größenrelevanten spezifischen Kosten der integrierten semizentralen Abfall- und Klärschlammbehandlung (anaerobe MBA) über die verschiedenen Fälle

Abbildung 28 veranschaulicht, dass im Bereich der Abfall- und Klärschlammbehandlung aus Kostensicht eine Mindestgröße von 52.000 Einwohnern empfehlenswert ist. Die deutlichen Skaleneffekte reduzieren sich ab dieser Größenordnung (Fälle 3a und 3b) erheblich. Während die spezifische Reduktion der größenabhängigen Kosten von Fall 1 (13.000 Einwohner) zu Fall 2 (26.000 Einwohner) noch bei fast 35% liegt, reduziert sich diese auf 23% von Fall 2 auf Fall 3a (52.000 Einwohner) und von Fall 3a auf Fall 4a (104.000 Einwohner) auf unter 5%. Daneben sind auch Unterschiede zwischen den kompakten und den bandförmigen Siedlungsstrukturen erkennbar: Die kompakten Fälle 3b und 4b schneiden im Vergleich zu den korrespondierenden Fällen der gleichen Größenordnung um knapp 8% bzw. 16% besser ab. Auch ist Fall 3b Fall 4a vorzuziehen, d.h. eine anaerobe MBA zur integrierten Behandlung von Abfällen und Klärschlämmen für ein kompaktes Einzugsgebiet von 52.000 Einwohner schneidet in den größenrelevanten Kosten spezifisch 4% günstiger ab als eine entsprechende Anlage für 104.000 Einwohner, die über ein weniger kompaktes Einzugsgebiet verteilt sind. Das aus dem Ranking hervorgehende Optimum bei einer Größenordnung von 104.000 Einwohnern in der kompakten Siedlungsvariante muss jedoch als relatives Optimum eingestuft werden – die Transportwege, resultierend aus der Siedlungsstruktur, nehmen offenbar wesentlichen Einfluss auf die spezifischen größenrelevanten Kosten. So schneidet Fall 4a im Größenranking schlechter ab als die doppelt so große Siedlungseinheit in Fall 5.

4.3.2 Anwendung von Raumentwicklungsszenarien auf die Modellierungsergebnisse

Wie eingangs dargestellt, werden die Ergebnisse des Größenrankings im Folgenden einer Sensitivitätsanalyse unterzogen, um die Relevanz einzelner Einflussgrößen auf die gesamten größenrelevanten Kosten zu untersuchen. Untersucht werden der Einfluss des Bodenpreises und des Energiepreises auf die größenrelevanten Systemkosten.

4.3.2.1 Einfluss des Bodenpreises auf die empfehlenswerte Größe semizentraler Ver- und Entsorgungssysteme

Der Bodenpreis ist für semizentrale Ver- und Entsorgungssysteme, die in unmittelbarer räumlicher Nähe zum Siedlungsgebiet bzw. im Siedlungsgebiet verortet sind, ein nicht unerheblicher Kostenfaktor. Konventionelle zentrale Ver- und Entsorgungssysteme sind sektoral aufgebaut und die sektoralen Behandlungsanlagen (Abfallbehandlungsanlagen, Kläranlagen etc.) werden im Regelfall außerhalb der Siedlungsbereiche, am Rande der Städte und deren Gemarkungen, realisiert. An zentrumsfernen Standorten sind Bodenpreise im Gegenwert von wenigen Euro Realität, die eine flächensparende Bauweise der Behandlungsverfahren nicht notwendig macht. Durch die Verortung im Siedlungsraum verdrängen semizentrale Ver- und Entsorgungszentren Flächen potenzieller Wohn- oder Gewerbenutzungen. Entsprechend muss für semizentrale Ver- und Entsorgungszentren von einem Bodenpreis auf dem Niveau von Bauland ausgegangen werden.

Um den Einfluss des Bodenpreises auf die spezifischen größenrelevanten Kosten zu ermitteln, wird die Kostenvergleichsrechnung als Sensitivitätsprüfung mit einem Quadratmeterpreis von 500 € erstellt und mit dem Ergebnissen des ursprünglichen 200 €/ m² verglichen. Die 500 €/ m² stellen dabei nicht zwingend einen durchschnittlich zu erwartenden Bodenpreis dar, sondern sollen durch die Erhöhung des ursprünglich angesetzten Wertes um 150% vielmehr als Extremwert den Einfluss dieses Parameters auf die spezifischen größenrelevanten Kosten abschätzbar machen.

Wasserversorgung

Wie Abbildung 29 zeigt, ist der Einfluss des Bodenpreises im Bereich der Wasserversorgung ob der insgesamt anzusetzenden spezifischen größenrelevanten Kosten eher gering.

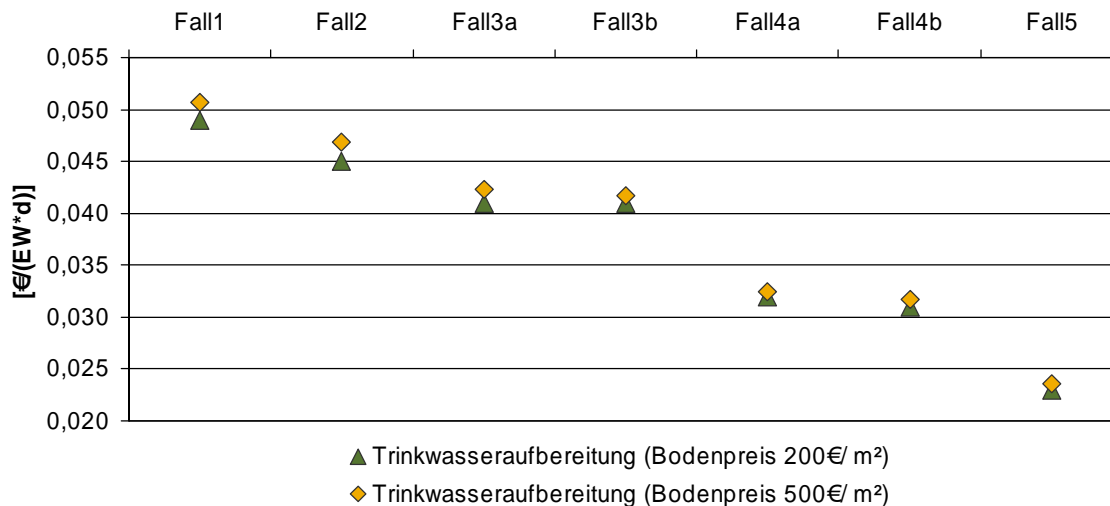


Abbildung 29: Vergleich der größenrelevanten spezifischen Kosten der Trinkwasseraufbereitung und -verteilung bei unterschiedlichen Bodenpreisen semizentraler Systeme

Die Unterschiede in den spezifischen Kosten unter der Annahme, der Bodenpreis betrage 500 €/ m², liegen in den kleineren Fällen (Fälle 1 und 2) noch bei 4,4% bzw. 3,3% über dem Vergleichswert von 200 €/ m². Bei zunehmender Größe des Versorgungsgebietes (ab einer Systemgröße von 52.000 Einwohnern in den Fällen 3a und 3b) reduziert sich die Differenz der spezifischen größenrelevanten Kosten weiter und sinkt auf ein stabiles Niveau von 2,4%. Die Ultrafiltrationsanlage ist mit ihrer geringen Grundfläche so größenoptimiert, dass die Kosten für den Grunderwerb keinen signifikanten Einfluss auf die empfehlenswerte Größenordnung haben.

Grauwasserbehandlung

Der Einfluss des Bodenwertes wird auch im Bereich der Grauwasserbehandlung durch den Vergleich des ursprünglich angesetzten Bodenwertes von 200 €/ m² zu einem alternativen Bodenwert von 500 €/ m² ermittelt.

Abbildung 30 veranschaulicht, dass der Bodenpreis nur marginalen Einfluss auf die spezifischen größenrelevanten Kosten hat. Die spezifischen größenrelevanten Kosten erhöhen sich lediglich um 0,5 bis 0,8%.

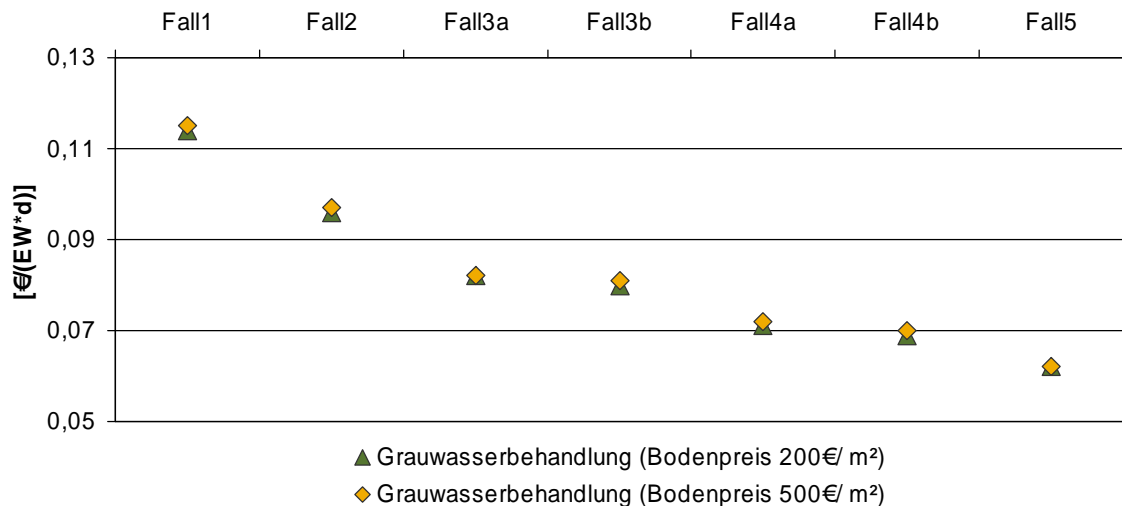


Abbildung 30: Vergleich der größenrelevanten spezifischen Kosten in der Grauwasserbehandlung bei unterschiedlichen Bodenpreisen

Es bleibt daher festzuhalten, dass kein signifikanter Einfluss des Bodenpreises auf die spezifischen größenrelevanten Kosten der semizentralen Grauwasserbehandlung nachgewiesen werden kann.

Schwarzwasserbehandlung

Auch für die Schwarzwasserbehandlung wird der Einfluss des Bodenpreises auf die größenrelevanten spezifischen Kosten untersucht.

Vergleichbar zu den Ergebnissen in der Grauwasserbehandlung ist auch bei der Schwarzwasserbehandlung festzustellen, dass sich eine angenommene Bodenpreissteigerung von 250% kaum messbar auf die spezifischen Gesamtkosten auswirkt.

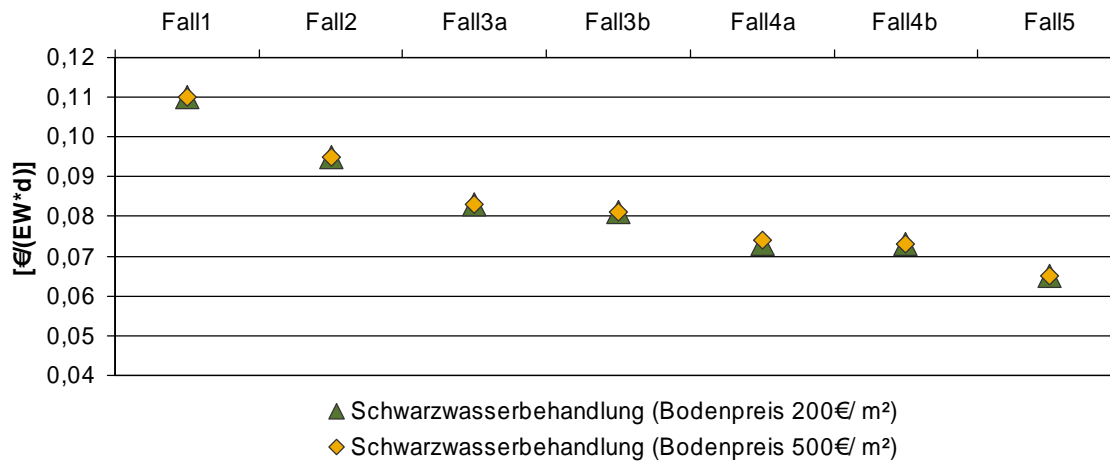


Abbildung 31: Vergleich der größenrelevanten spezifischen Kosten in der Schwarzwasserbehandlung bei unterschiedlichen Bodenpreisen

Die Preissteigerung liegt durchgängig unter 1% und ist damit kaum nachweisbar.

Aufgrund der kompakten Bauweise ist der Einfluss des Bodenpreises auf die spezifischen Kosten weder im Bereich der Grauwasser- noch im Bereich der Schwarzwasserbehandlung von Bedeutung für die spezifischen größenrelevanten Systemkosten im Rahmen semizentraler Systemgrößen.

Integrierte Abfall- und Klärschlammbehandlung

Die Steigerung des Bodenpreises von 200 €/m² auf 500 €/m² wirkt sich im Bereich der integrierten Abfall- und Klärschlammbehandlung mittels anaerober MBA nicht auf die größenrelevanten spezifischen Kosten aus, die spezifischen Kosten bleiben stabil (vgl. Abbildung 32). Der Anteil der einmalig zu investierenden Kosten für den Grunderwerb spielt demnach für die Kostenbetrachtung über den Gesamtzeitraum von 25 Jahren keine Rolle.

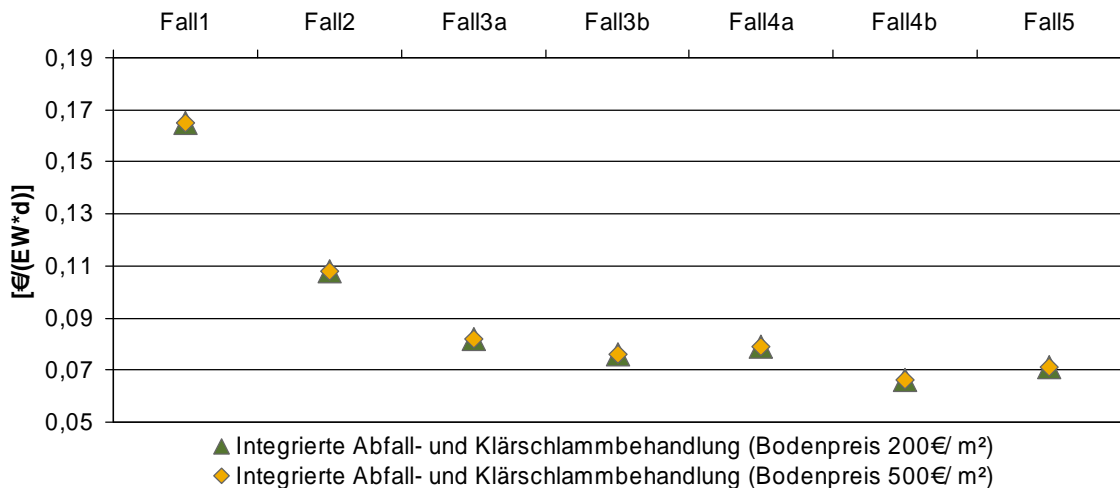


Abbildung 32: Auswirkungen des Bodenpreises auf die größenrelevanten spezifischen Kosten in der integrierten Abfall- und Klärschlammbehandlung

Zusammenfassung: Auswirkungen des Bodenpreises auf die spezifischen größenrelevanten Kosten semizentraler Ver- und Entsorgungssysteme

Es bleibt festzuhalten, dass der Bodenpreis einen nur geringen Einfluss auf die spezifischen größenrelevanten Kosten semizentraler Ver- und Entsorgungssysteme hat.

Lediglich im Bereich der Wasseraufbereitung wurden in den untersten Systemgrößen Steigerungen der größenrelevanten spezifischen Kosten von 3% bis 4% nachgewiesen. Im Bereich der Abwasserreinigung und der Abfall- und Klärschlammbehandlung liegen diese Steigerungen der spezifischen größenrelevanten Kosten in einem nicht signifikanten Bereich von 0% bis max. 1,2% zwischen den betrachteten semizentralen Größenordnungen. Entsprechend kann davon ausgegangen werden, dass der innerstädtische Standort semizentraler Behandlungsanlagen hinsichtlich des Bodenpreises keine ökonomischen Nachteile verursacht und die Ansiedlung eines Ver- und Entsorgungszentrums in unmittelbarer Nähe zum Siedlungsgebiet bzw. innerhalb des Siedlungsgebietes in dieser Hinsicht aufgrund der kompakten Bauweise als grundsätzlich empfehlenswert einzustufen ist.

4.3.2.2 Einfluss des Energiepreises auf die empfehlenswerte Größe semizentraler Ver- und Entsorgungssysteme

Für die Kostenvergleichsrechnung wurden sowohl in der Betrachtung vollintegrierter semizentraler Ver- und Entsorgungssysteme als auch im Rahmen der Einzelmodellierung der Systemkomponenten Energieaufwendungen von 0,10 €/ kWh veranschlagt. Bei einer Abschreibungs- und Nutzungsdauer von 25 Jahren ist unter realen Bedingungen nicht von einer Stabilität dieses Preisniveaus auszugehen. Um eine Sensitivitätsanalyse hinsichtlich des Einflusses des Energiepreises

auf die größenrelevanten Systemkosten durchzuführen, werden zwei verschiedene Varianten der Energiepreisentwicklung angenommen: Eine lineare Energiepreissteigerung von jährlich 5% bzw. 10% bezogen auf den Vorjahreswert gegenüber stabilen 0,10 €/ kWh über den gesamten Betrachtungszeitraum von 25 Jahren. Vergleichbar mit der Realitätsnähe der 500 €/ m² Bodenpreis sind die jährliche Steigerung von 10%ige als Extremwert einzustufen, die den Einfluss dieses Parameters auf die spezifischen größenrelevanten Kosten veranschaulichen soll.

Hinsichtlich des Einflusses der Energiepreisentwicklung sei an dieser Stelle noch einmal betont, dass im Rahmen der Einzelbetrachtungen der Module semizentraler Ver- und Entsorgungssysteme lediglich größenrelevante Kosten berücksichtigt wurden. Zu den nicht-größenrelevanten Parametern zählt u.a. auch der Energiebedarf der verschiedenen Systeme. Die Ergebnisse dieser Sensitivitätsprüfung bilden daher lediglich die Energieempfindlichkeit der verschiedenen Systemgrößen ab (Transport- und Sammelwege), nicht die der betrachteten Verfahren. Letztere müsste für einen Verfahrensvergleich zusätzlich berücksichtigt werden und sollten erwartungsgemäß um ein Vielfaches höher liegen als die Energiepreisempfindlichkeit der Systemgröße.

Wasserversorgung

Die beiden modellierten Energiepreissteigerungen machen deutlich, dass – im Gegensatz zum Bodenpreis – der Energiepreis einen nicht zu vernachlässigen Einfluss auf die spezifischen größenrelevanten Kosten in der Wasseraufbereitung hat. Verursacht eine Energiepreissteigerung um 5% noch einen Anstieg der spezifischen Kosten von rund 4% in den kleineren Fällen (Fälle 1 bis 3), fällt der Anstieg in den Fällen 4 und 5 mit über 6% bzw. über 8% bereits deutlich höher aus. Die in Szenario 2 simulierte Energiepreissteigerung von 10% hingegen führt zu spezifischen Kostensteigerungen von 16% in Fall 1 bis über 27% in Fall 5 (vgl. Abbildung 33).

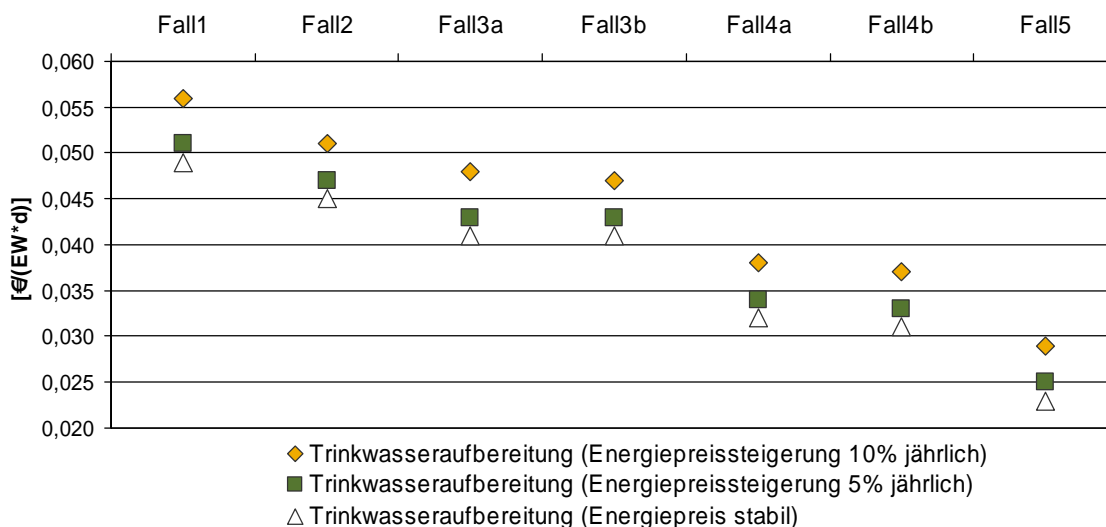


Abbildung 33: Einfluss von Energiepreissteigerungen auf die spezifischen größenrelevanten Kosten in der semizentralen Trinkwasseraufbereitung

Dies ist darauf zurückzuführen, dass die größenrelevanten Kosten die Energieaufwendungen für den Transport des Grauwassers von den Zellen zum VEZ berücksichtigen, welche mit zunehmender Systemgröße und damit zunehmenden Distanzen zunehmen.

Die Siedlungsstruktur hingegen spielt bei der Energiepreisentwicklung wiederum nur eine untergeordnete Rolle. Die Einsparungen durch verringerte Pumpwege liegen zwischen den Fällen 3a und 3b sowie 4a und 4b deutlich unter 1%.

Grauwasserbehandlung

Abbildung 34 veranschaulicht die Auswirkungen der Energiepreissteigerungen:

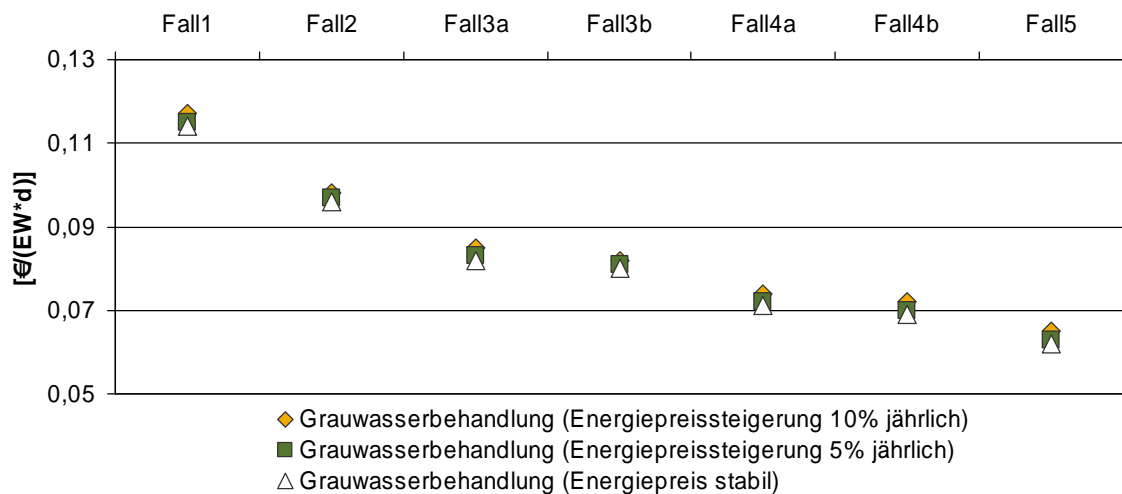


Abbildung 34: Einfluss von Energiepreissteigerungen auf die spezifischen größenrelevanten Kosten in der semizentralen Grauwasserbehandlung

Die spezifischen größenrelevanten Kosten erhöhen sich bei einer jährlichen Energiepreissteigerung um 1% bis 1,5%, mit einer leicht ansteigenden Tendenz bei zunehmender Systemgröße und weniger kompakter Siedlungsstruktur.

Im Falle einer jährlichen Steigerung des Energiepreises um 10% liegen die Kostensteigerungen der größenrelevanten Kosten mit knapp 3% bis fast 4,5% etwas höher. Auch hier erhöht sich der Effekt mit steigender Systemgröße und bei nicht-kompakter Siedlungsstruktur. Insgesamt liegen die Kostensteigerungen allesamt unterhalb der 5%-Signifikanzschwelle. Zusammenfassend bleibt daher festzuhalten, dass selbst erhebliche Energiepreissteigerungen nur geringen Einfluss auf die größenrelevanten spezifischen Kosten haben und damit eine erhebliche Planungssicherheit bei allen drei untersuchten Grauwasserbehandlungsverfahren für den Einsatz in semizentralen Systemgrößen besteht.

Schwarzwasserbehandlung

Die Energiepreissteigerungen haben im Bereich der Schwarzwasserbehandlung einen noch geringeren Einfluss auf die spezifischen größenrelevanten Kosten als in der Grauwasserbehandlung. Eine jährlich 5%ige Energiepreiserhöhung verursacht lediglich eine Steigerung der spezifischen größenrelevanten Kosten von bis 0,5%. Auch bei einer angenommenen Energiepreiserhöhung von jährlich 10% über die Abschreibungsdauer von 25 Jahren führt zu nicht signifikanten spezifischen Kostenerhöhungen von bis zu 1,6%. Jedoch wird hier zumindest der Trend angedeutet, dass kompakte Systemgrößen weniger anfällig gegenüber Energiepreissteigerungen sind.

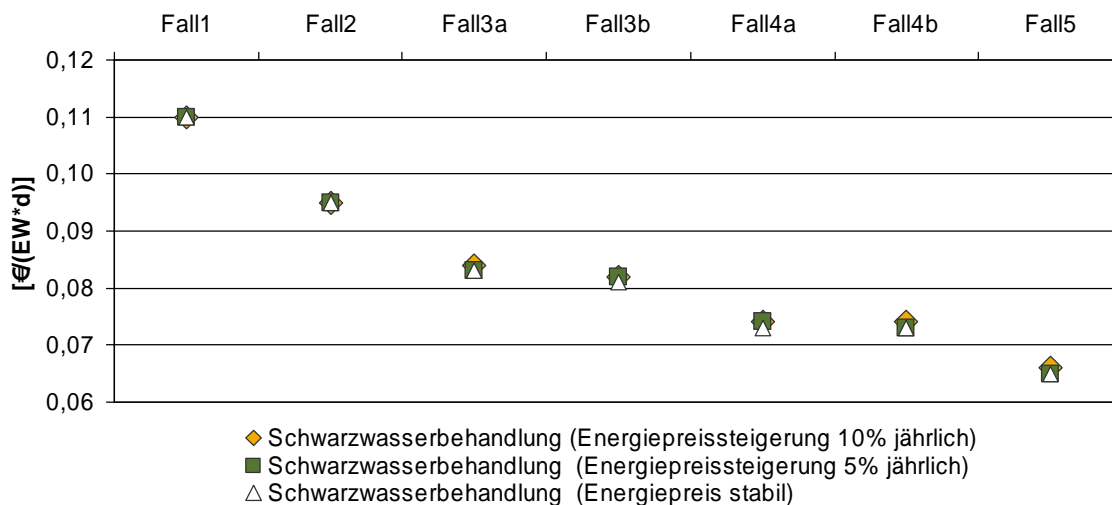


Abbildung 35: Einfluss von Energiepreissteigerungen auf die spezifischen größenrelevanten Kosten in der semizentralen Schwarzwasserbehandlung

Zusammenfassend bleibt festzuhalten, dass auch deutliche Energiepreissteigerungen in der Schwarzwasserbehandlung keinen signifikanten Einfluss auf die spezifischen größenrelevanten Kosten haben.

Integrierte Abfall- und Klärschlammbehandlung

Die Anwendung der Energiepreissteigerungen von jährlich 5% bzw. 10% auf die integrierte Abfall- und Klärschlammbehandlung zeigt einen deutlichen Einfluss des Energiepreises auf die spezifischen größenrelevanten Kosten des Systems (vgl. Abbildung 36). Die Energiepreissteigerung nimmt mit steigender Systemgröße zu. Während die Energiepreissteigerung bei den kleinen Systemen mit 13.000 bzw. 26.000 Einwohnern (Fall 1 und Fall 2) nur geringe bis gar keine Auswirkungen hat, werden die Auswirkungen mit zunehmender Zahl der angeschlossenen Einheiten und den damit verbundenen längeren Transportstrecken sichtbar größer.

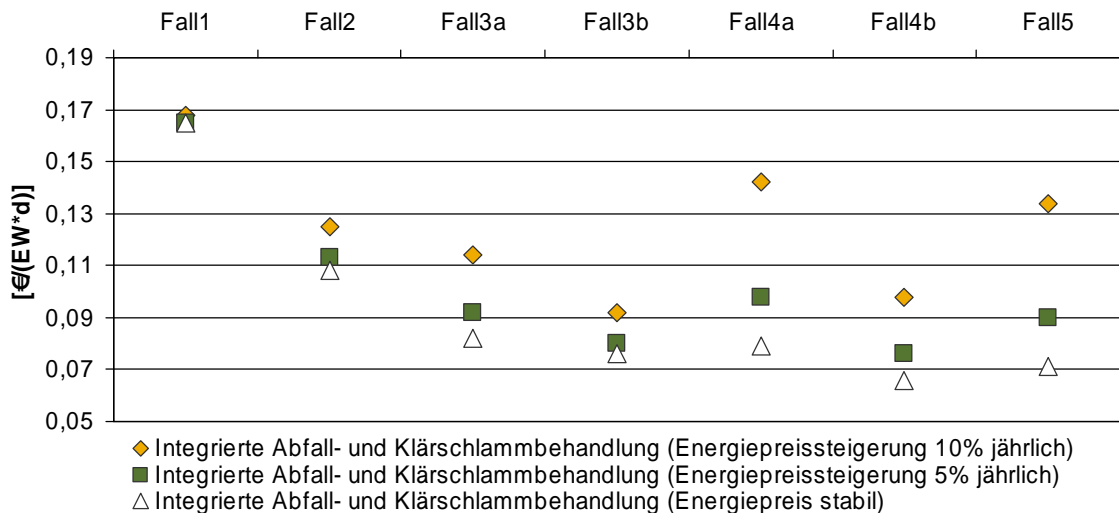


Abbildung 36: Einfluss von Energiepreissteigerungen auf die spezifischen größenrelevanten Kosten in der semizentralen integrierten Abfall- und Klärschlammbehandlung

Auffällig sind auch die Unterschiede zwischen den a- und b-Fällen. Der Transportaufwand ist in den bandförmigen Strukturen (a-Fälle) höher und schlägt sich mit steigendem Energiepreis deutlich auf die größenrelevanten spezifischen Kosten nieder: Diese steigen im Bereich der integrierten Abfall- und Klärschlammbehandlung bei einer Energiepreissteigerung von 5% um 12% in Fall 3a, aber lediglich um 6% im kompakten Fall 3b. Im Fall 4b liegt die Kostensteigerung bei einer 5%igen jährlichen Energiepreiserhöhung bei 15%, während sich in der nicht-kompakten Siedlungsstruktur gleicher Größe (Fall 4a) um 25% erhöhen. Noch deutlicher wird die Kostenentwicklung bei der modellierten jährlichen 10%igen Energiepreissteigerung. Die Erhöhung der raumrelevanten spezifischen Kosten liegt bei 39% in Fall 3a, aber nur bei 22% in Fall 3b. Vergleichbar sind die Kostenentwicklungen in der Systemgröße von 104.000 Einwohner: Während im Fall 4a Kostensteigerungen von 80% aufgrund einer jährlichen Energiepreiserhöhung um 10% entstehen, liegen diese bei der kompakten Siedlungsstruktur gleicher Größe (Fall 4b) bei lediglich 49%

Zusammenfassung: Auswirkungen von Energiepreissteigerungen auf die spezifischen größenrelevanten Kosten semizentraler Ver- und Entsorgungssysteme

Unter den betrachteten Rahmenbedingungen spielt der Energiepreis im Bereich der Wasserversorgung eine geringe Rolle, während er in der Grau- und Schwarzwasserbehandlung keinen nachweisbaren Einfluss auf die größenrelevanten Kosten hat. Im Bereich der Grau- und Schwarzwasserbehandlung wurden zusätzliche Transportaufwendungen für Klärschlämme auf der Straße bislang nicht berücksichtigt. Die anfallenden Klärschlämme müssen zur nächsten Behandlungsanlage transportiert werden (Distanz zu dieser aufgrund des sektoralen Berechnungsan-

satzes an dieser Stelle noch nicht definiert), was nach den bisherigen Ergebnissen darauf schließen lässt, dass eine gewisse Abhängigkeit vom Energiepreis auch in diesem Sektor besteht. Lediglich in der integrierten Abfall- und Klärschlammbehandlung verursachen Energiepreissteigerungen deutliche Steigerungen bei den größenrelevanten Kosten.

Gleichwohl sind – wenn auch im Abwasserbereich nur mit geringer Auswirkung – positive ökonomische Effekte hinsichtlich der Transportaufwendungen feststellbar: Je geringer der Transportbedarf innerhalb des Systems (Druckleitungen, Kanalnetz und Sammel- und Transportdistanzen) ist, desto geringer ist die Systemanfälligkeit gegenüber potenziellen Energiepreisschwankungen einzuschätzen, wodurch die Planungssicherheit hinsichtlich zukünftiger Kosten steigt.

Hinsichtlich der Abhängigkeit verschiedener Verfahren von Energiepreissteigerungen kann aufgrund der ausschließlichen Berücksichtigung größenrelevanter Kosten keine generelle Aussage getroffen werden. Im Falle der integrierten Abfall- und Klärschlammbehandlung ist hinsichtlich der energetischen Betrachtung jedoch ein wesentlicher Unterschied zu den Aufbereitungs- bzw. Behandlungsverfahren der Wassersysteme zu berücksichtigen: Durch die anaerobe Behandlung benötigt die integrierte Abfall- und Klärschlammbehandlung zwar auch Energie für Sammlung und Transport, jedoch wird gleichzeitig Biogas gewonnen, welches energetisch nutzbar ist. Da die Biogasmenge proportional mit zunehmender Abfall- und Klärschlammmenge ansteigt, wurde diese für die Ermittlung der Größenempfehlung bislang nicht berücksichtigt. Für Aussagen hinsichtlich der Energieabhängigkeit semizentraler Systeme spielt dieser Faktor jedoch eine elementare Rolle. Setzt man die Energiewerte an, die das System abzüglich seines Bedarfs produziert, ergibt sich – unter der Annahme, dass jede überschüssige Kilowattstunde mit dem Einkaufspreis vergütet wird – folgendes Bild (Abbildung 37):

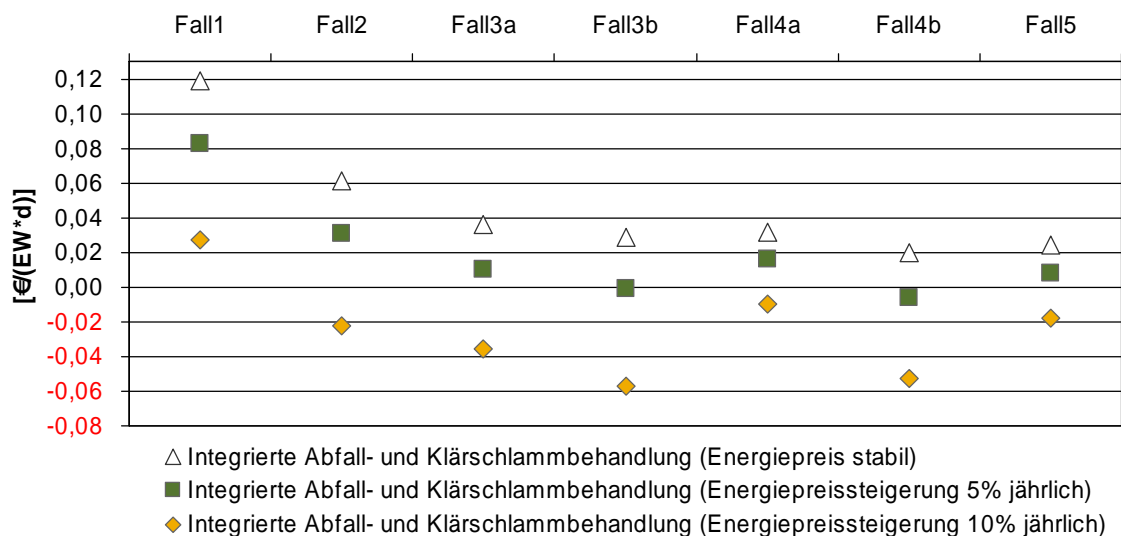


Abbildung 37: Auswirkungen einer Energiepreissteigerung unter Berücksichtigung des Gesamtenergieoutputs der integrierten Abfall- und Klärschlammbehandlung (mittels MBA anaerob-Verfahren)

Mit zunehmendem Energiepreis sinken die spezifischen Kosten der integrierten Abfall- und Klärschlammbehandlung. Ab einer Systemgröße von 52.000 Einwohnern liegt die durch das Biogas zu realisierende Energiemenge oberhalb des Sammlungs-, Transport- und Behandlungsbedarfs, produziert also mehr Energie als sie zu ihrem Betrieb benötigt. Deutlich wird zudem, dass die kompakten Fälle 3b und 4b aufgrund der geringeren Transportdistanzen einen deutlich größeren Energieüberschuss produzieren, als die weniger kompakten Fälle.

4.3.3 Größenempfehlung für semizentrale Ver- und Entsorgungssysteme

Im Folgenden werden die Ergebnisse der spezifischen größenrelevanten Kostenermittlung sowie der Sensitivitätsanalysen zusammengefasst, bewertet und die Einzelmodule zu integrierten Ver- und Entsorgungssystemen zusammengeführt.

Größenempfehlung Trinkwasseraufbereitung

Der Bodenpreis spielt für die Kostenbildung im Bereich der Trinkwasseraufbereitung mittels Ultrafiltration im cross-flow Verfahren nur eine geringe Rolle. Nur in den kleinen Systemgrößen (bis 26.000 Einwohner) sind Erhöhungen von über 4% festzustellen. Die Energiepreisentwicklung trifft die Wasserversorgung in allen Fällen vergleichbar stark. Insgesamt unterliegt die Kostenbildung klaren Skaleneffekten, unabhängig von der Siedlungsstruktur. Empfehlenswert sind auf dieser Basis möglichst große Systeme. Auch der ‚Sprung‘ von 104.000 auf 208.000 Einwohner ist mit einem größenrelevanten Kostenvorteil von über 25% noch sehr deutlich. Die Größenempfehlung für die Wasserversorgung liegt daher, unter den bis zu diesem Zeitpunkt berücksichtigten Rahmenbedingungen, zwischen 104.000 und 208.000 Einwohnern.

Größenempfehlung Grauwasserbehandlung

Weder der Bodenpreis noch die Energiepreissteigerungen haben einen sichtbaren Einfluss auf die spezifischen größenrelevanten Kosten. Die größenrelevanten Kosten für den betrachteten Biofilter zur Grauwasserbehandlung nehmen mit zunehmender Systemgröße kontinuierlich ab. Auch eine Erhöhung von 104.000 auf 208.000 angeschlossene Einheiten reduziert die Kosten mit über 10% noch signifikant.

Die empfehlenswerte Größenordnung im Bereich Grauwasserbehandlung liegt daher, unter ausschließlicher Betrachtung der größenrelevanten Kosten, im Bereich von 104.000 bis 208.000 Einwohnern.

Größenempfehlung Schwarzwasserbehandlung

Vergleichbare Aussagen wie für die Grauwasserbehandlung lassen sich auch für die Schwarzwasserbehandlung treffen. Da weder der Bodenpreis noch die Energiepreisanpassungen messbare Effekte auf die größenrelevanten Kosten haben, sind die Skaleneffekte ausschlaggebend. Daher ist unter den betrachteten Rahmenbedingungen ebenfalls die Größenordnung von 104.000 bis 208.000 Einwohnern empfehlenswert.

Größenempfehlung integrierte Abfall- und Klärschlammbehandlung

Der Bodenpreis spielt für die Kostenbildung bei der integrierten Abfall- und Klärschlammbehandlung keine Rolle. Ausgehend von der energetischen Betrachtung der größenrelevanten Kosten, ist eine Systemgröße für eine integrierte mechanisch-biologische Abfall- und Klärschlammbehandlung mit anaerober biologischer Verfahrensstufe zwischen 52.000 und 208.000 Einwohner empfehlenswert. Eine Energiepreissteigerung um 10% hebt jedoch die Skaleneffekte in den großen Systemgrößen ab 104.000 Einwohnern auf. Dies führt zu Kostenvorteilen für die Systemgröße mit 52.000 Einwohnern (Fall 3) und dabei insbesondere für die kompakte Siedlungsstruktur (Fall 3b), welche zudem aufgrund von kürzeren Transportwegen eine verbesserte Planungssicherheit hinsichtlich zukünftiger Energiepreisentwicklungen ermöglicht.

Der Einfluss der Energiepreise auf die spezifischen größenrelevanten Kosten ist vor allem bei den bandförmigen Strukturen erheblich: Die größenrelevanten Kosten für eine integrierte Abfall- und Klärschlammbehandlung mit 104.000 angeschlossenen Einwohnern im kompakten Siedlungsverbund (Fall 4b) und einer jährlichen Energiepreiserhöhung im 5% liegen noch unter denen des Falles 3b, also mit der Hälfte der angeschlossenen Wohneinheiten. Dementsprechend wird in der Einzelbetrachtung Abfall- und Klärschlammbehandlung, neben der grundsätzlichen Größenempfehlung von 52.000 bis 208.000 Einwohnern, eine zusätzliche Empfehlung hinsichtlich kompakter Siedlungsstrukturen zur Minimierung der Anfälligkeit gegenüber der Energiepreisentwicklung gegeben.

4.3.4 Gesamtsystemare Betrachtung: Zusammenführung der Einzelkomponenten zu einem integrierten Ver- und Entsorgungssystem

Für alle vier Module liegen die Größenempfehlungen in vergleichbaren Bereichen. In den Wassermodulen (Trink-, Grau- und Schwarzwasser) liegen die Einzelempfehlungen zugunsten großer Systeme bei 104.000 bis 208.000 Einwohnern. In der integrierten Abfall- und Klärschlammbehandlung kommt zusätzlich die nächst kleinere Systemgröße (Fälle 3a und 3b) hinzu. Es bietet sich entsprechend an, die

Synergieeffekte gleicher Größenordnungen aller Systemmodule im Vergleich zu unterschiedlichen Systemgrößen der verschiedenen Module zu hinterfragen, um die bestmögliche Lösung für das integrierte semizentrale Gesamtsystem erzielen zu können.

Durch die Zusammenführung der einzelnen Systemkomponenten zu einem integrierten semizentralen System, in dem alle Module die gleiche Systemgröße haben, lassen sich folgende Synergievorteile realisieren und im Kontext der Kostenvergleichsrechnung folgende Kosten minimieren:

- **Stufenverlegung:** Bei der Modellierung der Leitungsnetze sind bislang getrennte Ver- und Entsorgungsleitungen berücksichtigt worden. Eine gemeinsame Verlegung von Kanal- und Druckleitungen im so genannten Stufenverfahren ermöglicht Kosteneinsparungen von bis zu 25%. Diese wurden bislang lediglich für die gemeinsame Verlegung von Grau- und Schwarzwasser berücksichtigt. Die gemeinsame Systemgröße von Versorgung (Trink- und Brauchwasser) und Entsorgung (Grau- und Schwarzwasser) ermöglicht eine zusätzliche Kostenreduktion des Druckleitungsnetzes um 25% (aufgrund des reduzierten Verlegungsaufwandes).
- **Transportaufwendungen von Klärschlämmen vom Anfallort** (Trinkwasseraufbereitung, Grau- und Schwarzwasserbehandlung) zur Behandlung entfallen durch gleiche Größenordnungen der verschiedenen Systemkomponenten.

Vor diesem Hintergrund wird eine gemeinsame Größe aller vier betrachteten Ver- und Entsorgungsmodule empfohlen, die eine gemeinsame Behandlung aller Stoffströme in einem gemeinsamen Ver- und Entsorgungszentrum ermöglichen (vgl. vollintegrierter Ansatz Semizentral, Kapitel 3). Neben der potenziellen Kosteneinsparung sind aus ökologischer Sicht vor allem die minimierten Transportwege für diese Empfehlung ausschlaggebend.

In der gesamtsystemaren Betrachtung werden nun die ermittelten größenrelevanten Kosten für die Wasserversorgung, die Grauwasserbehandlung, die Schwarzwasserbehandlung sowie die integrierte Abfall- und Klärschlammbehandlung zusammengeführt. Tabelle 6 zeigt die spezifischen größenrelevanten Gesamtkosten für die unterschiedlichen Fälle (Systemgrößen und -zuschnitte).

Tabelle 6: Größenrelevante spezifische Gesamtkosten semizentraler Systeme

Fall 3a	Fall 3b	Fall 4a	Fall 4b	Fall 5
[€/EW*d]	[€/EW*d]	[€/EW*d]	[€/EW*d]	[€/EW*d]
0,28	0,27	0,25	0,23	0,22

Der Vergleich der größenrelevanten spezifischen Kosten zeigt, den Ergebnissen der Einzelmodule folgend, deutliche Vorteile für die größeren Systemgrößen. Auch der Unterschied zwischen den kompakten und den bandförmigen Siedlungsstrukturen, der bei den einzelnen Systemkomponenten bereits teilweise deutlich wurde, spiegelt sich in den Gesamtsystemkosten wieder.

Die Anwendung von Szenarien zur Siedlungsdynamik auf die Kostenvergleichsrechnung wird im Folgenden den Auslastungsgrad bestimmen und dessen Einfluss auf die Größenempfehlung semizentraler Systeme veranschaulichen.

4.3.5 Einfluss der Siedlungsdynamik auf die empfehlenswerte Größe semizentraler Ver- und Entsorgungssysteme

Die ermittelten größenrelevanten Kosten basieren auf der Annahme, dass die integrierten Ver- und Entsorgungssysteme voll ausgelastet sind. Aus planerischer Sicht ist jedoch bei Siedlungserweiterungen nicht von Beginn an von einer Gebietsauslastung und damit nicht von einem Volllastbetrieb der technischen Infrastruktur auszugehen. Der Faktor ‚Dynamik‘ beschreibt in diesem Kontext die Zuzugsgeschwindigkeit der Einwohner in ein Siedlungserweiterungsgebiet. Für diese Zuzugsgeschwindigkeit existieren keine Referenzwerte. Von chinesischer Seite sind keine Angaben zur Wohnungsbelegung in Neubaugebieten zu erhalten. Die Zuzugsdynamik in einzelne Siedlungserweiterungen spielt für zentrale Infrastruktursysteme von mehreren Millionen Einwohnern, innerhalb derer die Menschen umziehen oder die sich erst im Aufbau befinden, auch keine Rolle. Die in Kapitel 2.1 dargestellten Wachstumsraten beziehen sich auf urbane Räume bzw. Städte von mehreren 100.000 bis Millionen Einwohnern in der Gesamtschau. Es ist vielmehr davon auszugehen, dass ein Großteil der Zuwanderer in diese Räume aus ländlichen Regionen kommt und zunächst in eher bescheidenen Verhältnissen in den Städten lebt bzw. leben muss. Der Ansatz semizentraler Ver- und Entsorgungsgebiete betrachtet dagegen Siedlungserweiterungsgebiete, die von Wohnungsgrößen und Siedlungsstrukturen mittlerer bis gehobener Einkommen ausgehen und daher eher von Bevölkerungsschichten angenommen werden, die bereits in den Städten leben und innerhalb dieser umziehen.

Die Fragestellung integrierter semizentraler Ver- und Entsorgungssysteme als ‚Insellösungen‘ für definierte Teilräume und bzgl. der technischen Infrastruktur für abgeschlossene Siedlungseinheiten stellt daher neue Anforderungen an das methodische Vorgehen für den Vergleich unterschiedlicher Größenordnungen von Infrastruktursystemen.

Entsprechend werden im Folgenden verschiedene Szenarien zur dynamischen Entwicklung der Siedlungsdichte aufgestellt und miteinander verglichen.

Szenario 1: Sehr schneller kontinuierlicher Zuzug

- Vollbezug einer Suprazelle binnen eines Vierteljahres, entsprechend
- Vollbezug von 16 Suprazellen binnen vier Jahren
- Dies entspricht einem Zuzug von 1.000 Einwohnern (bzw. 303 Wohneinheiten) pro Woche²⁸ und
- 101 Umzügen pro Tag – auf der Fläche einer Suprazelle (50 ha).

Szenario 2: Schneller, kontinuierlicher Zuzug

- Vollbezug einer Suprazelle binnen sechs Monaten, entsprechend
- Vollbezug von 16 Suprazellen binnen acht Jahren.
- Dies entspricht einem Zuzug von 500 Einwohnern (bzw. 152 Wohneinheiten) pro Woche und
- 51 Umzügen pro Tag – auf einer Fläche von 50 ha.

Szenario 3: Langsamer, kontinuierlicher Zuzug

- Vollbezug einer Suprazelle binnen 12 Monaten, entsprechend
- Vollbezug von 16 Suprazellen binnen 16 Jahren.
- Dies entspricht einem Zuzug von 250 Einwohnern (bzw. 76 Wohneinheiten) pro Woche und
- 25 Umzügen pro Tag – auf einer Fläche von 50 ha.

Szenario 1 ist mit seiner Kontinuität und der erheblichen Zuzugsgeschwindigkeit als weniger realistisch einzuschätzen. Plausibler erscheint dagegen Szenario 2, wobei die Kontinuität über Ferienzeiten und Feiertage wie das Chinesische Frühlingsfest hinaus noch immer als hoch eingeschätzt werden kann. Szenario 3 bildet die noch einmal um 50% verringerte Zuzugsgeschwindigkeit ab, die insbesondere mit dem Zeitraum bis zur Volllauslastung der 16 Suprazellen als nicht praxistauglich einzuschätzen ist. Aus diesem Grund wird dieses Szenario noch einmal modifiziert. Unter der Annahme der Entwicklung einer erfolgreichen Marketingstrategie für die Vermarktung der Siedlungsgebiete werden Synergieeffekte eingerechnet, die eine jährliche Steigerung von 20% im Zuzug durch Zufriedenheit, Mund-zu-Mund-Propaganda, gutes Marketing etc. ermöglichen (Szenario 4).

Szenario 4: Langsamer Zuzug mit erfolgreichem Marketing

- Vollbezug einer Suprazelle binnen 12 Monaten, entsprechend

²⁸ Es wird die Annahme getroffen, dass Umzüge nicht an 7 Tagen der Woche angesetzt werden können, sondern in der Regel am oder zum Wochenende hin (Montag oder Freitag) stattfinden und somit die Umzüge pro Woche auf 3 von 7 Tagen begrenzt sind.

- Vollbezug von 16 Suprazellen binnen etwas mehr als sechseinhalb Jahren.
- Dies entspricht einem Zuzug von 250 bis 610 Einwohnern (bzw. 76 bis 185 Wohneinheiten) pro Woche und
- 25 bis 62 Umzügen pro Tag.

Abbildung 38 stellt die unterschiedlichen Zuzugsgeschwindigkeiten grafisch dar.

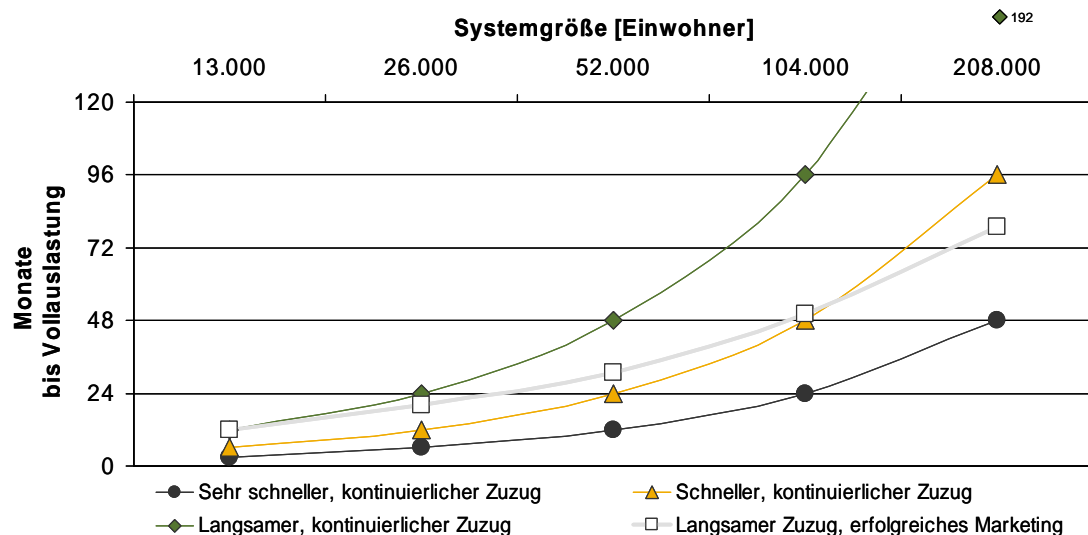


Abbildung 38: Szenarien der Dynamik: Unterschiedliche Zuzugsgeschwindigkeiten in semizentralen Siedlungserweiterungen

Um die Auswirkungen der unterschiedlichen Zuzugsgeschwindigkeiten auf die Größenempfehlungen des semizentralen Ver- und Entsorgungssystems übertragen zu können, werden die relativen durchschnittlichen Auslastungen für die Betriebsjahre ermittelt. Zugrunde gelegt werden dabei, entsprechend der voran stehenden Ausführungen, die Szenarien 2 und 4.

Beide Szenarien des dynamischen Zuzugs verursachen relative Unterauslastungen in den ersten Jahren des Systembetriebs, je größer das System, desto länger die relative Unterauslastung des Systems. Diese Unterauslastung führt dazu, dass die anfallenden Betriebskosten der Gesamtsystemgröße von einer geringeren Personenzahl getragen werden muss, als dies unter Volllast der Fall wäre.

Tabelle 7 veranschaulicht die relative Systemauslastung über die Jahre des Zuzugs, ausgehend von der Annahme, dass die volle Systemkapazität zum Zeitpunkt der ersten Zuzüge bereits realisiert ist.²⁹

²⁹ Grundsätzlich ist bei Infrastrukturanlagen nicht von einer 100%igen Auslastung auszugehen. Für den Größenvergleich wurde jedoch genau dies zur Ermittlung der spezifischen Kosten angenommen. Für den Vergleich spielt es daher keine Rolle, ob die Annahme einer 100%igen Auslastung realistisch ist oder eher weniger realistisch. Wichtig ist die Vergleichbarkeit der verschiedenen

Tabelle 7: Auswirkungen der Dynamik auf die relative Systemauslastung:
Vergleich der Szenarien 2 und 4

		Jahr 1	Jahr 2	Jahr 3	Jahr 4	Jahr 5	Jahr 6	Jahr 7	Jahr 8
Szenario 2	EW	<i>[Angaben in %]</i>							
1 Suprazelle	13.000	58	100	100	100	100	100	100	100
2 Suprazellen	26.000	50	100	100	100	100	100	100	100
4 Suprazellen	52.000	25	75	100	100	100	100	100	100
8 Suprazellen	104.000	13	38	63	88	100	100	100	100
16 Suprazellen	208.000	6	19	31	44	56	69	94	100
Szenario 4	EW	<i>[Angaben in %]</i>							
1 Suprazelle	13.000	50	100	100	100	100	100	100	100
2 Suprazellen	26.000	31	86	100	100	100	100	100	100
4 Suprazellen	52.000	20	59	91	100	100	100	100	100
8 Suprazellen	104.000	12	37	61	85	100	100	100	100
16 Suprazellen	208.000	8	23	38	53	69	85	97	100

Die Werte zeigen, dass die Auslastungsquoten in den kleineren Fällen zwar Abweichungen aufweisen, in beiden Szenarien die Vollausslastung jedoch binnen eines Jahres bzw. binnen zwei Jahren erreicht ist. Ab einer Größe von 4 Suprazellen muss nach den Annahmen, die den beiden Szenarien zugrunde liegen, von einem Unterlastbetrieb von zwei bis vier Jahren ausgegangen werden.

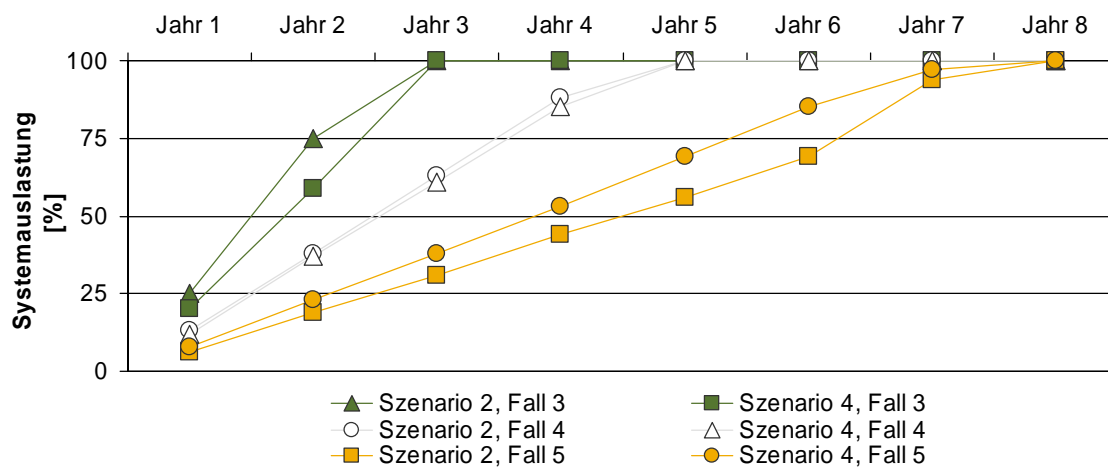


Abbildung 39 visualisiert die Unterschiede zwischen den verschiedenen Szenarien in den 3 größten semizentralen Fällen, ab einer Einwohnerzahl von 52.000 Einwohnern.³⁰

Szenarien: Verteilung der Last auf „alle Nutzer“ ab Jahr 1 oder dynamische Entwicklung der Nutzerzahl über die Zeit.

³⁰ Grundsätzlich könnte so argumentiert werden, dass der Ausbau von Infrastrukturanlagen modular erfolgen könnte und dass damit der Ausbaugrad der steigenden Nutzerzahl anpassbar wäre. Dies hätte jedoch eine Verschiebung von Investitionskosten auf spätere Jahre zur Folge, über deren

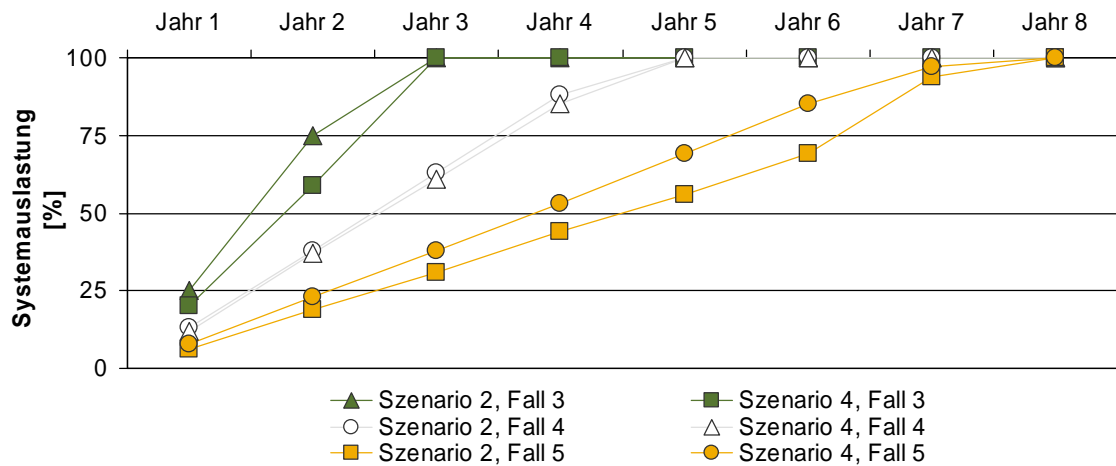


Abbildung 39: Vergleich der Szenarien 2 und 4 hinsichtlich der relativen Systemauslastung der semizentralen Größenordnungen ab 52.000 Einwohner

Der Vergleich der Szenarien macht deutlich, dass sich die Auslastungsquoten zwischen den Szenarien mit steigender Systemgröße verändern: Liegt Szenario 2 (schneller, kontinuierlicher Zuzug) in den kleineren Fällen noch vorne, gewinnt Szenario 4 (langsamer Zuzug mit erfolgreichem Marketing und dadurch steigende Auslastungsraten) mit zunehmender Systemgröße.

Im Folgenden werden die Szenarien auf die integrierten semizentralen Ver- und Entsorgungssysteme angewandt und die daraus resultierenden Auswirkungen auf die Kostenstruktur dargestellt.

Integriertes semizentrales Gesamtsystem in der Dynamik

Die Anwendung der dynamischen Zuwachsraten oder vielmehr der anfänglichen Unterauslastung der Systeme führt in der Kostenvergleichsrechnung zu prozentualen Steigerungen der spezifischen Kosten. Wie Abbildung 40 zeigt sind diese in den kleineren Fällen eher unbedeutend, da der Volllastbetrieb bereits nach ein bis zwei Jahren realisiert wird. Selbst in den Fällen 3a und 3b, in denen es unter Szenario 4 drei Jahre dauert, ehe die volle Systemauslastung erreicht ist, steigen die spezifischen Kosten nur um rund 20%.

Umfang und die zeitliche Verortung auf Basis der vorliegenden Daten nur spekuliert werden könnte. Entsprechend wurde von der Berücksichtigung eines modularen Anlagenbaus im Rahmen der Raumentwicklungsszenarien in dieser Arbeit Abstand genommen.

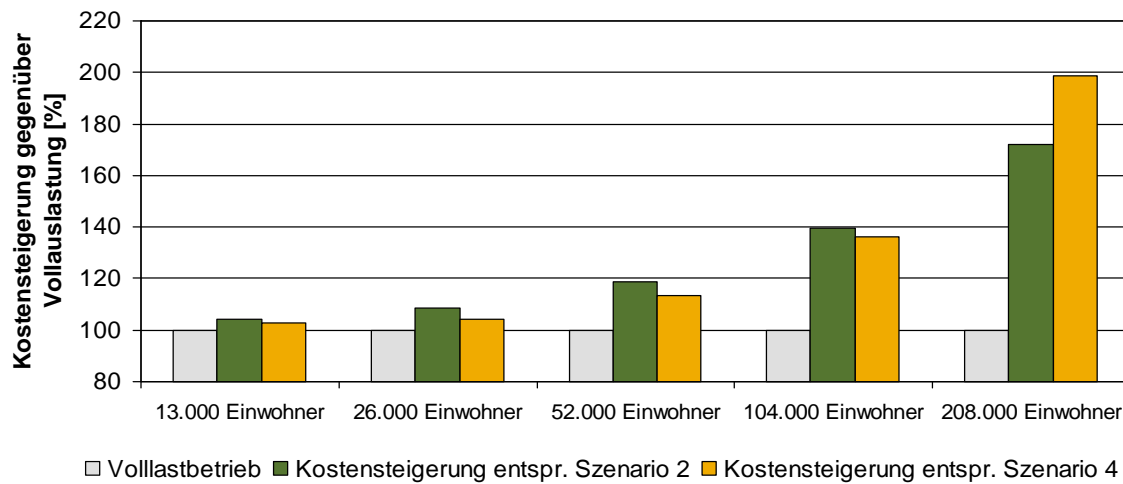
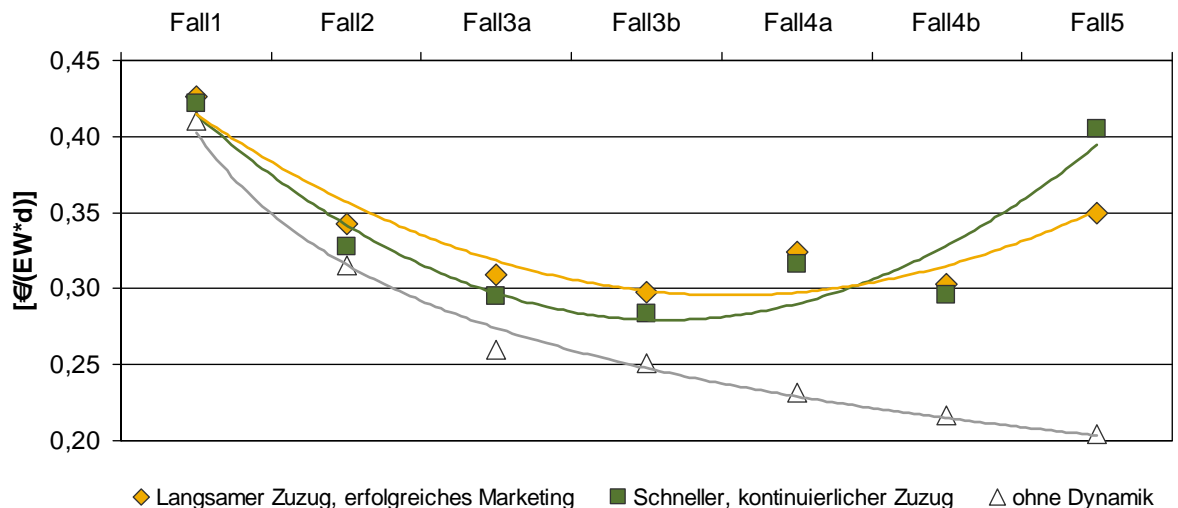


Abbildung 40: Relative Auswirkungen der Dynamik auf die Kosten integrierter semizentraler Systeme im Vergleich verschiedener Systemgrößen

Bei den größeren Fällen liegt die prozentuale Steigerung der spezifischen Kosten mit 36% bzw. 39% bereits deutlich höher als in den kleineren Fällen. Durch die lange Phase der Unterlast in Fall 5 ergeben sich – unter den definierten Rahmenbedingungen – Steigerungen der größenrelevanten Kosten von über 70% bis zu 98% im Vergleich zur Variante 1, die von Beginn an voll ausgelastet ist.

Das in Abbildung 41 dargestellte Kostenranking der spezifischen größenrelevanten Gesamtkosten macht deutlich, dass die Steigerung der spezifischen Kosten in den Systemgrößen 4 und 5 die Skaleneffekte aufhebt. Das Kostenoptimum liegt im Fall 3b, also in der Systemgröße von 52.000 Einwohnern mit kompakter Siedlungsstruktur. Auf Platz 2 des Größenrankings liegen mit vergleichbaren Werten der Fall 3a, die gleiche Größenordnung von 52.000 Einwohnern mit bandförmiger Siedlungsstruktur und der Fall 4b, die kompakte Siedlungserweiterung mit 104.000 Einwohnern.



	Fall 1 [€/EW*d]	Fall 2 [€/EW*d]	Fall 3a [€/EW*d]	Fall 3b [€/EW*d]	Fall 4a [€/EW*d]	Fall 4b [€/EW*d]	Fall 5 [€/EW*d]
<i>ohne Dynamik</i>	0,410	0,315	0,260	0,251	0,232	0,217	0,204
<i>Szenario 2</i>	0,422	0,328	0,295	0,284	0,316	0,296	0,405
<i>Szenario 4</i>	0,426	0,343	0,309	0,298	0,324	0,303	0,350

Ohne Dynamik: Vollausslastung des Systems ab Tag 1

Szenario 2: Dynamische Entwicklung: schneller, kontinuierlicher Zuzug

Szenario 4: Dynamische Entwicklung: langsamer Zuzug mit erfolgreichem Marketing

Abbildung 41: Entwicklung der durchschnittlichen spezifischen Systemkosten semizentraler Systeme unter Berücksichtigung der Unterauslastung zu Beginn des Betrachtungszeitraumes, exemplarisch dargestellt an den Szenarien 2 (schneller, kontinuierlicher Zuzug) und 4 (langsamer Zuzug mit erfolgreichem Marketing) – mit Datenblatt

Auswirkungen der Berücksichtigung eines dynamischen Zuzugs in Siedlungserweiterungsgebiete auf die größenrelevanten Systemkosten

Nach der Modellierung der Zuzugsdynamik ist davon auszugehen, dass die Wahl des Szenarios keine entscheidende Rolle spielt, relevant scheint jedoch generell die Berücksichtigung der Dynamik zu sein. Die Auswirkungen auf die größenrelevanten Kosten sind erheblich: Die einwohnerspezifischen Kosten im Fall 5 steigen um beinahe 100%. Dies führt dazu, dass die absoluten Kostenvorteile der 208.000 und 104.000 Einwohner umfassenden Ver- und Entsorgungssysteme (Fall 4 und Fall 5) teurer werden und somit die mittlere Größenordnung der Siedlungserweiterungen von 52.000 Einwohner in der kompakten Form (Fall 3b) die kostengünstigste Systemlösung darstellt.

Insgesamt sind die Unterschiede auf den ersten Plätzen des Rankings eher gering. Es konnte jedoch gezeigt werden, dass mit der Systemgröße von 52.000 Einwohnern der Schnittpunkt zweier (größenrelevanter) Kostenentwicklungen über die

verschiedenen Größen gefunden wurde: Auf der einen Seite die Kosten semizentraler Systeme, die in allen Aufbereitungs- und Behandlungssektoren deutlichen Skaleneffekten folgen (also mit zunehmender Systemgröße spezifisch geringer werden). Auf der anderen Seite die Kosten für die temporäre Unterauslastung großer Systeme in der Anlaufphase, abgebildet durch die durchschnittlichen spezifischen Kosten über den gesamten Betrachtungszeitraum.

4.3.6 Schlussfolgerungen: Empfehlenswerte Größenordnungen für integrierte semizentrale Ver- und Entsorgungssysteme

Die Berechnungen der größenrelevanten Kosten semizentraler Ver- und Entsorgungssysteme haben folgende Ergebnisse erzielt:

1. Die empfehlenswerten Größenordnungen der einzelnen Systemkomponenten (Trinkwasseraufbereitung, Grauwasserbehandlung zur Wiederverwendung als Brauchwasser, Schwarzwasserbehandlung und integrierte Abfall- und Klärschlammbehandlung) sind miteinander vergleichbar. In sofern konnten die **Größenempfehlungen vollintegrierter semizentraler Ver- und Entsorgungssysteme** (104.000 bis 208.000 Einwohner) unabhängig vom Integrationsgrad³¹ **verifiziert** werden. Eine Anwendung semizentraler Ver- und Entsorgungssysteme ist demnach auch für die ermittelten Systemgrößen sinnvoll, wenn einzelne Systemkomponenten aus rechtlichen, organisatorischen o.a. Gründen nicht auf semizentraler Ebene realisiert werden können, das Gesamtsystem also nicht als vollintegrierter sondern als teilintegrierter Ansatz realisiert werden soll.
2. Der **Bodenpreis spielt** bei einer Realisierung semizentraler Ver- und Entsorgungszentren innerhalb von Siedlungsräumen **keine signifikante Rolle** für die Kostenbildung. Da im Rahmen der Einzelmodellierung semizentraler Systemkomponenten lediglich größenrelevante Kosten berücksichtigt wurden ist davon auszugehen, dass der Bodenpreis noch weiter an Einfluss auf die Gesamtkosten verlieren wird, wenn alle Systemkosten berücksichtigt werden. Der Grunderwerb für ein semizentrales Ver- und Entsorgungssystem ist daher nicht als Wettbewerbsnachteil im Vergleich zu konventionellen zentralen Lösungen einzuschätzen.
3. Der **Einfluss potenzieller Energiepreissteigerungen** spielt für die untersuchten Verfahren im Bereich Wasser nur bedingt eine Rolle. In der Trinkwasseraufbereitung konnten im Extremfall (jährliche Energiepreissteigerung von 10%) Preissteigerungen von bis zu 27% ermittelt werden. Im rea-

³¹ Berücksichtigung aller oder nur ein Teil der zur Verfügung stehenden semizentralen Module: ‚vollintegriert‘: Berücksichtigung aller 4 Systemmodule; ‚teil-integriert‘: Berücksichtigung von 1 bis 3 Systemkomponenten semizentraler Ver- und Entsorgungssysteme

listischeren Szenario (jährliche Energiepreissteigerung von 5%) lagen die Kostenerhöhungen unter 10%. In der Grau- und Schwarzwasserbehandlung blieben die Energiepreissteigerungen quasi ohne Auswirkungen. Im Bereich der integrierten Abfall- und Klärschlammbehandlung hingegen wirken sich die Energiepreiserhöhungen mit bis zu knapp 30% im moderaten Szenario und knapp 90% im Extremszenario (jährliche Energiepreissteigerung von 10%) aufgrund der berücksichtigten Transportaufwendungen deutlich aus. Zudem ist zu berücksichtigen, dass lediglich die größenrelevanten Kosten in der Kostenvergleichsrechnung im Rahmen der Einzelmodellierungen betrachtet wurden. Entsprechend ist davon auszugehen, dass die Anfälligkeit der Systeme gegenüber Energiepreisschwankungen in einer Gesamtkostenbetrachtung (Energiebedarf der Anlagen, Energiebedarf der Sammlung innerhalb der Zellen) aufgrund des höheren Anteils der Energiekosten an den Gesamtkosten tendenziell weiter zunehmen wird (vgl. Auswirkungen auf die integrierte Abfall- und Klärschlammbehandlung unter Berücksichtigung der Anlagenenergiebilanz). Eine Energieoptimierung der Systeme ist daher als empfehlenswert einzustufen, um eine bessere Planungssicherheit gegenüber veränderten Rahmenbedingungen in der Zukunft zu ermöglichen.

4. Die Berücksichtigung der dynamischen Zuwanderung in Siedlungserweiterungsgebiete verändert die spezifischen Systemkosten erheblich. Auch wenn diese nicht in vollem Umfang an die Nutzer weitergegeben werden können, so müssen sie ggf. als unternehmerisches Risiko eingestuft und entsprechend für eine Empfehlung der ‚idealen‘ Systemgröße berücksichtigt werden: Durch die temporäre Unterauslastung bereitstehender Ver- und Entsorgungskapazitäten kommt es insbesondere in den großen Systemgrößen (Fall 4 mit 104.000 bzw. Fall 5 mit 208.000 Einwohnern) zu erheblichen Kostensteigerungen von annähernd 40% in Fall 4 und nahezu 100% in Fall 5. Der Fall 3 (52.000 Einwohner) stellt mit deutlichem Vorsprung die günstigste Systemgröße dar. Zudem wird der Unterschied zwischen den kompakten und nicht-kompakten Fällen deutlich: der **Fall 3b** ist günstiger als der Fall 3a (und damit **die empfehlenswerte Größenordnung und -struktur für integrierte semizentrale Ver- und Entsorgungssysteme**) und auch Fall 4b liegt in den größenrelevanten spezifischen Kosten unter denen des Falls 4a. Die Berechnung der Systemauslastung erfolgte unter der Annahme extremer Randbedingungen, dennoch zeigen verschiedene Neubaugebiete in China (vgl. Anting New Town in Shanghai oder BinHai Garden in Qingdao) mit großen Leerstandsanteilen, dass die Dynamik des Zuzugs in neue Siedlungsgebiete eine von außen nicht steuerbare Größe ist

und als potenzieller Kostenfaktor im Größenvergleich berücksichtigt werden muss.

5 Übertragbarkeit des Semizentral Ansatzes

Alleine in China gibt es weit mehr als 100 Städte mit mehr als 1 Mio. Einwohner. Laut CIA (CIA 2008) liegt der derzeitige Urbanisierungsgrad in China bei 43%, Tendenz mit 2,7% jährlich stark steigend. Das starke urbane Wachstum verursacht in weiten Teilen des Landes einen erheblichen Bedarf an technischer Infrastruktur, insbesondere in der Basisversorgung mit Trinkwasser und in der elementaren Entsorgung von Abwässern und Abfällen. Hinzu kommt ein durch das urbane Wachstum indizierter Wassermangel, der die in großen Teilen Chinas naturräumlich bedingte Wasserknappheit (vgl. Abbildung 42) zusätzlich verstärkt.

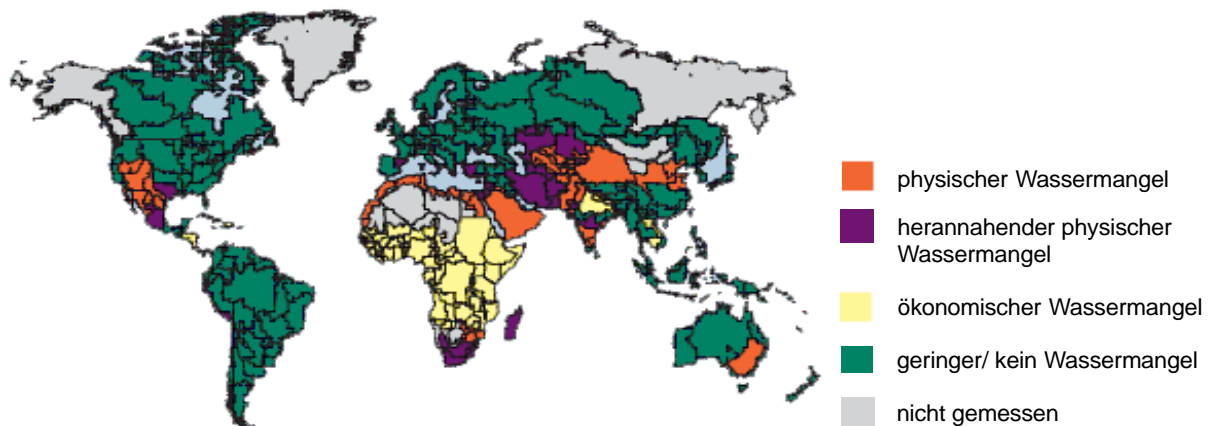


Abbildung 42: Regionen mit Wassermangel weltweit (nach UN Water 2007)

In China verursacht die zum Teil beträchtliche Gewässerbelastung, hervorgerufen durch die massive Industrialisierung, zudem Wasserknappheit, da die zur Verfügung stehenden Wasserressourcen zur Trinkwasseraufbereitung aufgrund der Belastung nicht verwendet werden können.

Anwendungsbereiche über die Grenzen der Volksrepublik China hinaus

In Schwellen- und Entwicklungsländern weltweit ist die Situation im Infrastruktursektor eine der wesentlichen Herausforderungen der Zukunft (vgl. Wilderer & Paris 2001b, 88). Nur durch eine gesicherte Versorgung mit hygienisch einwandfreiem Trinkwasser sowie einer gesicherten Entsorgung von Abwasser- und Abfallströmen kann Wirtschaftswachstum langfristig überhaupt stattfinden. Laut der UN Populations Division (United Nations Population Division 2001) wird die weltweite Urbanisierung noch mindestens bis ins Jahr 2030 anhalten. Von den Schwellen- und Entwicklungsländern der Gegenwart würden neben China und Indien Brasilien, Indonesien, Nigeria, Pakistan und Mexico die größten Entwicklungspotenziale zugerechnet. Parallel seien drei afrikanische Staaten (die Demokratische Republik Kongo, Äthiopien und die Vereinigte Republik Tansania), zwei asiatische Staaten (Saudi Arabien und die Sozialistische Republik Vietnam) und ein südamerikanischer Staat (Venezuela) zukünftige Räume starken urbanen

Wachstums. Entsprechend groß ist der Bedarf für verlässliche, ressourcenschonende und sichere Ver- und Entsorgungssysteme einzuschätzen, die mit den neuen Herausforderungen erheblicher urbaner Zuwachsraten Schritt halten können.

Daneben besteht ein zusätzlicher enormer Bedarf neuer Infrastruktursysteme: $\frac{1}{3}$ der urbanen Weltbevölkerung lebt heute in Slums oder Squattergebieten, ohne ausreichende technische Ver- und Entsorgung zur Sicherung hygienisch einwandfreier Trinkwasserversorgung und Abwasserentsorgung. Das Millennium Development Goal 7 spricht von der Verbesserung der Lebensbedingungen von mindestens 100 Millionen Slum-Bewohnern bis zum Jahr 2020 (UN-HABITAT 2006). Der daraus resultierende Bedarf an flexibler technischer Infrastruktur, ggf. auch unabhängig von bestehenden Systemen, ist enorm.

Entsprechend der vergleichbaren Rahmenbedingungen in vielen urbanen Wachstumsräumen weltweit (Siedlungsneubau verursacht durch urbanes Wachstum, hohe Bevölkerungsdichten, Wasserknappheit, Bedarf an Behandlungskapazitäten für Abwasser und Abfall) ist der für den Einsatz in schnell wachsenden urbanen Räumen der Volksrepublik Chinas entwickelte Ansatz auch auf andere urbane Räume übertragbar, die mit vergleichbaren Herausforderungen konfrontiert sind und nach neuen, flexibleren und an sich verändernde oder unsichere Rahmenbedingungen anpassbare Infrastrukturlösungen suchen. Für eine Umsetzung müssen die raumrelevanten Faktoren wie Topologie, Bodenbeschaffenheit, klimatische Bedingungen, rechtliche Rahmenbedingungen etc., die im Rahmen der Modellierung mit der entwickelten Suprazelle explizit ausgeschlossen wurden, entsprechend der spezifischen Umstände ergänzt und in der Entscheidungsfindung berücksichtigt werden. Auch definierte Rahmenbedingungen der Suprazelle wie Siedlungsstrukturen, Gebäudehöhen, Wohnungsgrößen etc. sind bei einer Übertragung des Ansatzes auf andere Länder zu überprüfen und ggf. anzupassen. Zudem ist zu berücksichtigen, dass für die technischen ebenso wie für die Größenmodellierungen vereinfachende Rahmenbedingungen wie vollkommene Information, Markttransparenz und uneingeschränkter Wettbewerb angenommen wurden, deren Nichtexistenz im Anwendungsfall zu berücksichtigen ist.

Ausgehend von urbanem Wachstum besteht weltweit erheblicher Bedarf für die Entwicklung neuer Infrastruktursysteme in urbanen Räumen. Zudem bietet die potenzielle Unabhängigkeit semizentraler Strukturen von bestehenden zentralen Systemen zusätzliche Vorteile, insbesondere wenn die bestehenden Systeme den Ansprüchen an Reinigungs- oder Behandlungsziele nicht mehr genügen oder unzureichende Ausbaupkapazitäten für Erweiterungen haben.

Die im Vergleich zu konventionellen zentralen Ansätzen deutlich reduzierten Investitionsvolumina, die zur Initiierung der technischen Infrastrukturentwicklung

notwendig sind, stellen einen weiteren Vorteil gegenüber konventionellen Ansätzen und damit einen Anreiz zum Einsatz semizentraler Ver- und Entsorgungssysteme für Siedlungs- und Stadterweiterungen dar.

Hinsichtlich der dargestellten Berechnungen sind die wesentlichen Parameter auf schnell wachsende urbane Räume anderer Staaten übertragbar. So sind bspw. die angenommenen Dichtewerte der Suprazelle vergleichbar mit Siedlungserweiterungen in anderen urbanen Wachstumsräumen in Indien oder Südafrika.

Die Berechnungen haben zudem ergeben, dass die Kosten für den Grundstückserwerb als nicht maßgebend für die Kostenbildung integrierter semizentraler Systeme einzuschätzen sind. Grundsätzlich wäre eine Modellierung mit abweichenden Werten innerhalb der Kostenvergleichsrechnung jedoch auch problemlos möglich.

Hinsichtlich der Kostenstabilität des Systems wurde der Einfluss der Energiekosten auf die Preisbildung in mehreren Szenarien untersucht. Relevante Abweichungen der dort getroffenen Annahmen können – vergleichbar mit potenziellen Veränderungen beim Bodenpreis – problemlos in die Kostenvergleichsrechnung eingepflegt werden.

Zusammenfassend bleibt festzuhalten, dass die betrachteten Rahmenbedingungen am Beispiel der Volksrepublik China, in Kombination mit den modellierten Entwicklungsszenarien, als grundsätzlich auf schnell wachsende urbane Räume in Schwellen- und Entwicklungsländern übertragbar einzuschätzen sind, da die angenommenen Rahmenbedingungen weltweit in urbanen Wachstumsräumen – wenn auch in unterschiedlicher Ausprägung und Intensität der Entwicklung – anzutreffen sind.

6 Zusammenfassung

Ansatzpunkt des Ansatzes „Semizentral“ ist der Bedarf neuer Infrastrukturlösungen für schnell wachsende Räume mit mehr Flexibilität und Anpassbarkeit an sich verändernde bzw. unsichere Rahmenbedingungen und einer effizient(er)en Ressourcennutzung. Dieser Bedarf besteht nicht nur in China, sondern resultiert aus Herausforderungen, die weltweit in schnell wachsenden urbanen Räumen auftreten. Weiterhin bestehen in schnell wachsenden urbanen Räumen mit hohen Einwohnerdichten vergleichbare Herausforderungen bzgl. Wasserknappheit und Entsorgungsbedarf für Abfälle und Klärschlämme – auch dies ist kein rein chinesisches Phänomen. Die für die Modellierung der Siedlungserweiterungen angenommenen Einwohnerdichten sind weltweit in schnell wachsenden urbanen Räumen anzutreffen.

Die Kostenvergleichsrechnung der Modellierungen integrierter semizentraler Ver- und Entsorgungssysteme wurde anhand der Basisdaten (Wasserbedarf insgesamt und anteilig nach Verwendungszwecken, Abfallaufkommen etc.) der Stadt Qingdao in der Volksrepublik China erstellt. Grundsätzlich wurden jedoch verallgemeinerbare Annahmen getroffen, die auf schnell wachsende urbane Räume im Allgemeinen zutreffen.

Integrierte semizentrale Ver- und Entsorgungssysteme sind im Sinne eines Baukastensystems individuell an die Rahmenbedingungen angepasst einsetzbar. Die Größenempfehlung semizentraler Systeme ist damit unabhängig von der Integration der verschiedenen Systemkomponenten Trinkwasseraufbereitung, Grau- und Schwarzwasserbehandlung sowie integrierte Abfall- und Klärschlammbehandlung und kann daher sowohl für vollintegrierte als auch für teil-integrierte Systeme (bspw. ohne die in der Volksrepublik China zentral auszuführende Wasserversorgung) empfohlen werden.

Der Einfluss des Bodenpreises auf die Kostenbildung semizentraler Ver- und Entsorgungssysteme hat sich als gering erwiesen. Unter Berücksichtigung aller systemimmanenten Kosten wird sich dieser Effekt weiter verstärken. Eine eingeschränkte Wettbewerbsfähigkeit semizentraler Systeme gegenüber zentralen Lösungen ist aufgrund der Verortung innerhalb von Siedlungs- und Ballungsgebieten – zumindest aufgrund der Kosten für den Grunderwerb – nicht zu erwarten.

Der Einfluss des Energiepreises spielt dagegen eine nicht unerhebliche Rolle. In der integrierten Abfall- und Klärschlammbehandlung haben die Szenarien zur Energiepreisentwicklung (jährliche Steigerung um 5% bzw. 10%) bereits Kostensteigerungen von nahezu 30% bis 100% verursacht. In der Trinkwasseraufbereitung waren die Wirkungen deutlich geringer, aber signifikant. Lediglich in der

Grau- und Schwarzwasserbehandlung ließen sich keine signifikanten Auswirkungen auf die Preisbildung feststellen. Allerdings berücksichtigt die Modellierung lediglich die größenrelevanten Kosten, so dass bei einer Kostenvergleichsrechnung mit allen systemimmanenten Kosten (inkl. des Energiebedarfs der Aufbereitungs- und Behandlungsanlagen) mit einem größeren Einfluss des Energiepreises auf die Kostenbildung zu rechnen ist. Durch die Biogasgewinnung in der integrierten Abfall- und Klärschlammbehandlung besteht beim integrierten semizentralen Ansatz jedoch das Potenzial, das System unabhängig von Energiepreisentwicklungen zu betreiben, da der aus dem Biogas zu gewinnende Energieüberschuss für den Anlagenbedarf der Wasseraufbereitung und -behandlung eingesetzt werden könnte. Der dynamische Zuwachs der Einwohnerzahl in Siedlungserweiterungsgebiete hat sich als zentraler Parameter bei der Ermittlung der spezifischen größenrelevanten Kosten herausgestellt. Durch die zu Anfang erheblich reduzierten Einwohnerzahlen müssen die Kosten über die gesamte Laufzeit auf durchschnittlich weniger Haushalte verteilt werden, was die spezifischen Kosten z. T. deutlich erhöht. Die ohne Berücksichtigung der Zuzugsdynamik deutlichen Skaleneffekte in der Kostenbildung semizentraler Systeme werden durch die Einbeziehung des dynamischen Zuzugs soweit reduziert, dass ab einer Systemgröße von über 100.000 Einwohnern ein Anstieg der spezifischen Kosten erfolgte. Unter Berücksichtigung der Dynamik kann folglich – unter den modellierten Rahmenbedingungen – eine Größenempfehlung von 52.000 Einwohnern ausgesprochen werden. Die Siedlungsstruktur spielt eine eher geringe Rolle, wenngleich Vorteile der kompakten gegenüber den bandförmigen Siedlungsstrukturen erkennbar sind. Dies lässt sich auf den höheren Energiebedarf der nicht-kompakten Strukturen aufgrund größerer Transportaufwendungen zurückführen. Zur Erhöhung der Planungssicherheit hinsichtlich zukünftiger Energiepreisentwicklungen ist daher kompakten Strukturen – wenn möglich – der Vorzug zu geben.

Grundsätzlich sei an dieser Stelle noch einmal betont, dass jeder potenzielle Anwendungsraum technischer Infrastruktur individuelle Anforderungen an ein Ver- und Entsorgungssystem stellt, an die dieses anzupassen ist. Dies betrifft für den semizentralen Ansatz zunächst die Auswahl der Stoffströme zur Aufbereitung bzw. Behandlung, aber auch die Anpassung an Topographie, Bodenbeschaffenheit, Reinigungsziele, Entfernungen zur Wasserquelle und -senke etc. Die im Rahmen dieser Arbeit ermittelten Kosten semizentraler Ver- und Entsorgungssysteme beziehen sich einerseits auf die Grundannahmen der Suprazelle (vgl. Kapitel 3.2.1) und andererseits auf die größenrelevanten Kosten des Systems. Sie sind daher als standortübergreifendes Ranking verwendbar, stellen also keine an einem bestimmten Standort zu erwartende Kosten dar.

Für eine Übertragung des Ansatzes auf andere Standorte weltweit sind ggf. zusätzliche standortspezifische Anforderungen an die Modellierung zu stellen, z.B.

im Falle der Zugrundelegung des durchschnittlichen Wasserbedarfs in arabischen Ländern o.ä.. Die im Rahmen der Modellierungen Semizentral getroffenen Annahmen lassen sich jedoch entsprechend der jeweiligen Anforderungen zusätzlich berücksichtigen bzw. anwendungsorientiert verändern.

7 Ausblick und weiterer Forschungsbedarf

Aus den gewonnen Erkenntnissen ergeben sich weitere Forschungsfragen.

So wurden im Rahmen dieser Arbeit verschiedene semizentrale Größenordnungen miteinander verglichen. Wichtig für die Einordnung des integrierten semizentralen Ansatzes im Vergleich zu alternativen Lösungen wäre ein direkter Vergleich von Kosten und Umweltwirkungen sektoraler Ver- und Entsorgungssysteme mit dem integrierten semizentralen Ansatz. Dabei könnten sowohl verschiedene Aufbereitungsverfahren und Reinigungsziele (wie sie in der Volksrepublik China oder anderen Staaten gegenwärtig üblich sind) berücksichtigt werden als auch verschiedene Systemgrößen zentraler Systemlösungen.

Die dargestellte Modellierung zur Untersuchung des Einflusses der Zuzugsgeschwindigkeit auf die größenrelevanten Kosten verschiedener Systemgrößen geht von einer einstufigen Realisierung der Siedlungserweiterungsgebiete aller Systemgrößen aus, die in der Realität nicht vorzufinden sein wird. Baugebiete von mehreren 10.000 Einwohnern werden auch in schnell wachsenden urbanen Räumen in China im Regelfall in Baustufen realisiert. Ähnliches gilt für die technische Ausstattung der Ver- und Entsorgungsanlagen. Lediglich große Teile des Kanal- und Leitungsnetzes müssen frühzeitig realisiert werden. Diese Faktoren konnten im Rahmen der vorliegenden Arbeit nicht berücksichtigt werden. Grundsätzlich ist davon auszugehen, dass deren Berücksichtigung die dargestellten Effekte reduzieren, jedoch die Grundtendenz zur Empfehlung kompakter Strukturen mittlerer Größenordnungen nicht verhindern würden. Die Entwicklung geeigneter Modulgrößen integrierter technischer Aufbereitungs- und Behandlungsschritte auf der einen und baustufentauglicher Siedlungserweiterungsgrößen auf der anderen Seite, stellt eine wesentliche Forschungsaufgabe für die zukünftige interdisziplinäre Forschung dar.

Eine weitere wichtige Fragestellung, die seit Beginn der dargestellten Forschung immer mehr an Bedeutung gewonnen hat, sind die Klimawirkungen von Ver- und Entsorgungssystemen und hierbei explizit die CO₂-Bilanz. Der im Herbst 2006 veröffentlichten Stern-Report (Stern 2006) stellte aufgrund eines Kostenvergleichs der Anpassung an den Klimawandel im Vergleich zum Schadenspotenzial dar, dass die Kosten für den unterlassenen Klimaschutz fünf- bis 20-fach höher liegen könnten. Der im Jahr 2007 veröffentlichte IPCC-Bericht machte darüber hinaus deutlich, dass nur eine schnelle Reduktion der Treibhausgasemissionen katastrophale Auswirkungen des Klimawandels verhindern könne. Notwendig sei mindestens eine Halbierung der weltweiten jährlichen Treibhausgasemissionen bis zum Jahr 2050. Für die Bundesrepublik bedeutet dies eine notwendige Reduktion klimarelevanter Emissionen von 25% bis 40% bis zum Jahr 2020 (bezogen auf das

Jahr 1990) und eine Reduktion von 80% bis 90% bis zum Jahr 2050 (Richter & Thomas 2009). Die EU hat bereits im Jahr 2007 weit reichende verbindliche und unverbindliche Ziele zur Reduktion der Treibhausgasemissionen ihrer Mitglieds-länder initiiert. Gegenstand der daraus resultierenden Bemühungen der Bundes-regierung ist ein Acht-Punkte-Plan (BMU 2007), der neben der Reduktion des Stromverbrauchs durch Effizienzsteigerungen, die effizientere Energiegewinnung im Kraftwerksbereich, die Reduktion im Gebäudesektor durch Sanierungen, die verbesserte Nutzung der Kraft-Wärme-Kopplung und Verbesserungen im Ver-kehrswesen inkl. Treibstoffen auf der Basis erneuerbarer Energien auch folgende weitere Punkte umfasst, die im Kontext Semizentral von Interesse sind: Die Steige-rung des Anteils erneuerbarer Energien in der Stromerzeugung, die Steigerung des Anteils erneuerbarer Energien im Bereich der Wärmegewinnung und die Re-duktion von Methanemissionen. Alle drei Punkte sind sinnvolle Anknüpfungs-punkte zukünftiger Forschung im Kontext integrierter semizentraler Ver- und Entsorgungssysteme: Die Stromgewinnung aus Biogas, gewonnen aus Klär-schlämmen und Abfällen, was gleichzeitig zu einer Reduktion der Methanemissi-onen auf Deponien führt. Den dritten Ansatzpunkt bietet die Ener-gie(rück)gewinnung aus Abwasser, die insbesondere bei Trennung von Grau- und Schwarzwasser aufgrund der hohen Ablauftemperaturen des Grauwassers inte-ressant ist.

Zudem stellt sich in der Gesamtsystembetrachtung vor dem Hintergrund, dass integrierte semizentrale Ver- und Entsorgungssysteme Energie innerhalb des Sys-tems produzieren (mittels anaerober Behandlung von Schlämmen und Abfällen und die energetische Verwertung des entstehenden Biogases), die Frage, ob das integrierte semizentrale System energieautark betrieben werden kann und in wel-chem Maße diese dazu beitragen kann, die CO₂-Bilanz eines Ver- und Entsor-gungssystems im Vergleich zu konventionellen Ansätzen zu verbessern. Sind kli-maneneutrale semizentrale Ver- und Entsorgungssysteme realisierbar? Und welche Rolle spielen CO₂-Zertifikate in diesem Zusammenhang? Diese wurden im Rah-men der Kostenvergleichsrechnung Semizentral aufgrund der derzeit geringen Kosten pro Tonne CO₂ von unter 11 € (www.co2-handel.de, Stand 13. KW 2009) nicht berücksichtigt. Für zukünftige Entwicklungen sollte dieser Faktor jedoch – insbesondere für den Gesamtkostenvergleich zentraler und integrierter semizent-raler Ansätze – Berücksichtigung finden.

Ein weiteres Forschungsfeld liegt im Bereich der Abwärmenutzung aus Grauwasser. Durch die räumliche Nähe und die in-house-Behandlung in semizentralen Ver- und Entsorgungszentren bietet sich die Möglichkeit die Wärme des Grau-wassers (zwischen 25° und 50° Celsius) mit Hilfe von Wärmetauschern nutzbar zu machen. Gleichzeitig könnte dadurch die Wiederverkeimung des Brauchwassers erheblich reduziert werden. Forschungsgegenstand könnten neben den Rückge-

winnungsverfahren auch die Nutzungsmöglichkeiten der Wärme im angrenzenden Siedlungsgebiet darstellen.

Letztlich könnte die Übertragbarkeit des Ansatzes Semizentral auf schrumpfende Strukturen ein wertvoller Forschungsgegenstand sein. Ein in Zeiten des Wachstums in der Volksrepublik China eher ungewöhnliches Thema, das aber aufgrund der demographischen Strukturen und Entwicklungen in China ein Zukunftsthema werden wird (vgl. Weber et al. 2005). Die Anpassbarkeit semizentraler Systeme an Schrumpfungsbedingungen zu untersuchen, könnte dem Ansatz ein zusätzliches Gewicht in der Abwägung zukünftiger Infrastrukturlösungen hin zu alternativen semizentralen Systemen geben.

Quellenverzeichnis

- ARL (2005):** *Handwörterbuch der Raumordnung*. ARL, Hannover.
- Bähr, J. & U. Jürgens (2005):** *Stadtgeographie II - Regionale Stadtgeographie*. Westermann, Braunschweig.
- BBR (2001):** *Raumentwicklung und Raumordnung in Deutschland - Kurzfassung des Raumordnungsberichts 2000*. Bonn.
- Beck-Bornholdt, H. & H. Dubben (2001):** *Der Hund, der Eier legt - Erkennen von Fehlinformation durch Querdenken*. Rowohlt, Reinbek bei Hamburg.
- Berger, J. (2008):** *Biologische Methanoxidation in Deponieabdeckschichten*. WAR Schriftenreihe, Darmstadt.
- Berger, J.; Bergs, C.; van Dillen, A.; Ernst, M.; Jaron, A.; Karavezyris, V.; Kopp, A.; Petersen, F.; Radde, A.; K. Wagner et al. (2009):** *Von der Müllkippe zur Ressourcenpolitik - 40 Jahre Abfallpolitik in Deutschland - From waste dump to resource policy - 40 years of waste poicity in Germany*. In: Müll und Abfall, 4/2009: 163-171.
- BfAi (2007):** *Klärschlammlösungen in der VR China dringend gesucht - Ausschnitt der Datenbank Länder und Märkte*. <http://www.gtai.de>, Zugriff: 14.11.2008 und 10.03.2009.
- Bi, X. J. (2004):** *Data of the BMBF-project from project partners, Technological University Qingdao*. In: BMBF (Hrsg.), *Enbericht Semizentrale Ver- und Entsorgungssysteme für urbane Räume Chinas, Teilprojekt 1'* [02WD0398]'.
- Bieker, S. & A. Selz (2006):** *Einsatz semizentraler Ver- und Entsorgungssysteme in urbanen Räumen Chinas - Ein Ansatz für eine nachhaltige Stadtentwicklung?*. In: Verein zur Förderung des Instituts WAR (Hrsg.), *Interdisziplinarität in der Umwelt- und Raumplanung - Theorie und Praxis*. Darmstadt, S. 49-61.
- Bieker, S. (2008):** *Semicentralised Supply and Disposal Systems - A New Step Towards Sustainable Growth in Fast Growing Developing Countries?*. AESOP Young Academics workshop in Hindsaeter, 16.-18.06.2008, Norwegen.
- Biswas, A. K. (1982):** *Long Distance Water Transfer: The Chinese Plans*. In: *GeoJournal*, 6/5: 481-487.
- Blotevogel, H. H. (1996):** *Zentrale Orte: Zur Karriere und Krise eines Konzepts in der Regionalforschung und Raumordnungspraxis*. In: Bundesministerium für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau (Hrsg.), *Informationen zur Raumentwicklung*, 10/1996: 617-629.
- Blotevogel, H. H. (2005):** *Zentrale Orte*. In: Akademie für Raumforschung und Landesplanung (ARL) (Hrsg.), *Handwörterbuch der Raumordnung*. S. 1307-1315.
- BMBF (2005):** *Zwischenbericht - Semizentrale Ver- und Entsorgungssysteme für urbane Räume Chinas - Teilprojekt 1*.

- BMBF (2006):** *Semizentrale Ver- und Entsorgungssysteme für urbane Räume Chinas, Teilprojekt 1 - Forschungsbericht 02WD0398.*
- BMBF (2009):** *Semizentrale Ver- und Entsorgungssysteme für urbane Räume Chinas – Teilprojekt 2 - Forschungsbericht 02WD0398.*
- BMRBS (1996):** *Raumordnung in Deutschland.* Eigenverlag BMRBS, Bonn.
- BMU (2007):** *Klimaschutz bedeutet Umbau der Industriegesellschaft - 8-Punkte-Plan zur Senkung der Treibhausgas-Emissionen um 40 Prozent bis 2020.* BMU-Pressedienst Nr. 116/07, Berlin.
- Böhm, H. R. (2001):** *Solid Waste Management between Market Economy and Environmental Protection - Experiences with the German Federal Law on Closed Loop Economy and Solid Waste Disposal (Recycling and Waste Act - RWA).* International Conference, Rogów.
- Böhm, H. R. (2004):** *Infrastrukturplanung I - Materialien zur Veranstaltung Umwelt- und Raumplanung I am Fachgebiet Umwelt- und Raumplanung.* Darmstadt.
- Böhm, H.; Bieker, S. & A. Selz (2006):** *Semi-Centralized Infrastructure Systems - Integrated Systems for a Sustainable Development of Fast Growing Urban Areas.* In: University of Hong Kong (Hrsg.), *Conference Proceedings of The twelfth Annual International Sustainable Development Research Conference.* Hong Kong.
- Burdett, R. & P. Rode (2007):** *The Urban Age Project.* In: Burdett, R. & D. Sudjic (Hrsg.), *The Endless City.* Phaidon, London [u.a.].
- Canzler, W.; Knie, A. & L. Marz (2006):** *"Osten erglüht, China ist jung." - China als Katalysator einer postfossilen Mobilitätskultur?.* In: Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR) (Hrsg.), *Postfossile Mobilität - Zur Zukunft von räumlicher Mobilität und Verkehr.* Selbstverlag des BBR, Bonn, S. 439-446.
- Chang, Y. (2009):** *Greywater Treatment within Semicentralized supply and treatment concepts by the example of P.R. of China.* Darmstadt (im Erscheinen).
- Christaller, W. (1933, 1980):** *Die Zentralen Orte in Süddeutschland - Eine ökonomisch-geografische Untersuchung über die Gesetzmäßigkeit der Verbreitung und Entwicklung der Siedlungen mit städtischen Funktionen.* Wissenschaftliche Buchgesellschaft Darmstadt, Jena (Neudruck: Darmstadt).
- CIA (1990):** *The World Factbook 1990.*
<https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/geos/ch.html>, Zugriff: Oktober 2008.
- CIA (2008):** *The World Factbook 2008.*
<https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/geos/ch.html>, Zugriff: 23.7.2008.
- www.co2-handel.de (2009):** Zugriff: 04.04.2009.

- Cornel, P.; Weber, B.; Böhm, H.; Bieker, S. & A. Selz (2004):** *Semizentrale Wasser- ver- und -entsorgungssysteme - Eine Voraussetzung zur innerstädtischen Wasser- wiederverwendung?.* In: Verein zur Förderung des Instituts WAR (Hrsg.), Was- serwiederverwendung - eine ökologische Notwendigkeit wasserwirtschaftli- cher Planung weltweit?. Darmstadt, S. 17-32.
- Cornel, P. (2008):** *Semizentrale Ver- und Entsorgungssysteme für urbane Räume - Lö- sungen für schnell wachsende urbane Räume.* In: J. Pinnekamp (Hrsg.), Wasser- Energie-Abfall am 28. und 29.10.2008 in Aachen., Ges. z. Förderung d. Sied- lungswasserwirtschaft an der RWTH Aachen e.V., Gewässerschutz - Wasser - Abwasser (GWA). Aachen.
- Cramer, C. & S. Schmitz (2004):** *Die Welt will Stadt - Entwicklungszusammenarbeit für das 'Urbane Jahrtausend'.* In: Aus Politik und Zeitgeschichte, 15-16/: 12- 20.
- DIN 4045:2003-08 (2003):** *Abwassertechnik - Grundbegriffe.* Beuth, Berlin.
- Ehrig, H.; Höring, K. & A. Helfer (1998):** *Anforderungen an und Bewertung von bio- logischen Vorbehandlungen für die Ablagerung - BMBF Verbundvorhaben 'Me- chanisch-Biologische Behandlung von zu deponierenden Abfällen', Teilvorhaben 3/4, Förderkennzeichen: 1480964.*
- Enquete-Kommission "Schutz des Menschen und der Umwelt - Ziele und Rah- menbedingungen einer nachhaltig zukunftsverträglichen Entwicklung" (1998):** *Konzept Nachhaltigkeit - Vom Leitbild zur Umsetzung.* Deutscher Bun- destag Drucksache 13/11200, Berlin.
- Fassmann, H. (2004):** *Stadtgeographie I - Allgemeine Stadtgeographie.* Westermann, Braunschweig.
- Frey, R. L. (2005):** *Infrastruktur.* In: Akademie für Raumforschung und Landespla- nung (ARL) (Hrsg.), Handwörterbuch der Raumordnung. Hannover, S. 469- 475.
- Günthert, F. W. & E. Reicherter (2001):** *Investitionskosten der Abwasserentsorgung - mit 31 Tab.* Oldenbourg-Industrieverlag, München.
- Heineberg, H. (2000):** *Grundriß Allgemeine Stadtgeographie: Stadtgeographie Schö- ningh,* Paderborn.
- Hirn, W. (2006):** *Herausforderung China - Wie der chinesische Aufstieg unser Leben verändert.* S. Fischer Verlag, Frankfurt am Main.
- Holz, I. (1994):** *Stadtentwicklungs- und Standorttheorien unter Einbeziehung des Immo- bilienmarktes* Geographisches Institut, Mannheim.
- Information Technology Associates (2008):** *Floor Space Completed and Housing Conditions of Urban and Rural Residents*
http://www.allcountries.org/china_statistics/10_32_floor_space_completed_and_housing.html, Zugriff: 29.08.2008.

- IPCC (2001a):** *Climate Change: The Scientific Basis* In: Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. (Hrsg.), Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, USA, S. 881.
- IPPC (2001b):** *Climate Change: The Scientific Basis. Chapter 11: Changes in Sea Level* www.grida.no/climate/ipcc_tar/wg1/431.htm, Zugriff: 10.04.2009.
- IPCC (2007):** *Couplings between Changes in the Climate System and Biochemistry* In: Solomon, S.; Qin, D.; Manning, M.; Chen, Z.; Marquis, M.; Averyt, K.; Tignor, M. & H. Miller (Hrsg.), *Climate Change 2007: the Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, USA.
- Ipsen, D. (2004):** *High-Speed Urbanismus* In: *archplus - Zeitschrift für Architektur und Städtebau*, 168/: 28-29.
- Jäde, H.; Dirnberger, F. & J. Weiß (2005):** *Baugesetzbuch- Baunutzungsverordnung - Kommentar*. Richard Boorberg Verlag, Stuttgart, München, Hannover, Berlin, Weimar, Dresden.
- Jager, J.; Bockreis, A.; Bretschneider, J.; Ludwig, T.; Ott, C.; Sakaguchi, K.; Steinberg, I. & E. Szpadt (2002):** *Abfalltechnik I - Grundfach- Skript des Fachgebietes Abfalltechnik des Institut WAR, Technische Universität Darmstadt*.
- Jakubowski, P. (2006):** *Stadt ohne Infrastruktur heißt Stadt ohne Zukunft - Zur Agenda kommunaler Infrastrukturpolitik*. In: *Informationen zur Raumentwicklung*, 5/2006: 237-248.
- Jochimsen, R. (1966):** *Theorie der Infrastruktur - Grundlagen der marktwirtschaftlichen Entwicklung*. Siebeck, Tübingen.
- Ju, J. (1998):** *A Primary Integration Matrices Approach to Sustainability Orientated Land Use Planning in China* Institut für Raumordnung und Entwicklungsplanung der Universität Stuttgart. IREUS Schriftenreihe. Stuttgart.
- Judd, S. (2006):** *The MBR Book - Principles and Applications of Membrane Bioreactors in Water and Wastewater Treatment*. elsevier, Oxford.
- KAG (1995):** *Kommunalabgabengesetz (KAG): Gesetz- und Verordnungsblattes Teil II (GVBl. II) - Vom 20. Juni 1995*. http://rlp.juris.de/rlp/KAG_RP_P7.htm,
- Kaltenbrunner, R. (2008):** *Die Köpfe des Drachen - Kontinuität und Wandel in der Stadt- und Raumentwicklung der VR China*. In: Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR) (Hrsg.), *Raum- und Siedlungsentwicklung in Asien*. Selbstverlag des BBR, Bonn, S. 471-483.
- Karl, V. (2004):** *Erfahrungen bei der Wasserwiederverwendung gereinigten Abwassers in China* In: Verein zur Förderung des Instituts WAR (Hrsg.), *Wasserwiederverwendung - eine ökologische Notwendigkeit wasserwirtschaftlicher Planung weltweit?*. Darmstadt, S. 33-40.

- kfw (2007):** *Case Studies for Options of Sustainable Sewage Sludge Disposal at Wastewater Treatment Plants in China - A - Conclusive Report.*
- Kiepe, F. & A. von Heyl (2004):** *Baugesetzbuch für Planer.* Rudolf Müller Verlag, Köln.
- Kluge, F.; Krause, C. L. & K. Wiethoff (2008):** *Raumdynamik in der Megastadt - Strukturelle und informelle Prozesse in Guangzhou.* In: PLANERIN - Fachzeitschrift für Stadt-, Regional-, und Landesplanung, 3/08: 51-53.
- Kraas, F. & U. Nitschke (2008):** *Megaurbanisierung in Asien - Entwicklungsprozesse und Konsequenzen stadträumlicher Reorganisation.* In: Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR) (Hrsg.), *Raum- und Siedlungsentwicklung in Asien.* Selbstverlag des BBR, Bonn, S. 447-456.
- KrW-/AbfG (1994):** *Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz vom 27. September 1994 (BGBl. I S. 2705), das durch Artikel 3 des Gesetzes vom 11. August 2009 (BGBl. I S. 2723) geändert worden ist.*
- Kunzmann, K. (2008):** *Herausforderungen des asiatischen Jahrhunderts für die Raumentwicklungspolitik in Deutschland.* In: Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR) (Hrsg.), *Raum- und Siedlungsentwicklung in Asien.* Selbstverlag des BBR, Bonn, S. 523-533.
- Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (2005):** *Leitlinien zur Durchführung dynamischer Kostenvergleichsrechnungen - (KVR-Leitlinien).* Kulturbuchverlag, Berlin.
- Läpple, F. (2007):** *Abfall- und kreislaufwirtschaftlicher Transformationsprozess in Deutschland und in China - Analyse – Vergleich – Übertragbarkeit.* Heidelberg.
- Lau, M. (2004):** *Küstenzonen Management in der Volksrepublik China und Anpassungsstrategien an den Meeresspiegelanstieg.* In: Schernewski, G. & T. Dolch (Hrsg.), *Geographie der Meere und Küsten: Coastline Reports 1.*
- Lichtenberger, E. (1986):** *Stadtgeographie - Begriffe, Konzepte, Modelle, Prozesse.* Teubner, München.
- Lü, J.; Rowe, P. G. & J. Zhang (2001):** *Modern Urban Housing in China 1840-2000.* Prestel, München.
- Melin, T. & R. Rautenbach (2007):** *Membranverfahren - Grundlagen der Modul- und Anlagenauslegung.* Springer Verlag, Berlin.
- Meyer-Bohe, W. (2004):** *Shanghai - Moloch oder Megalopolis? - "Wohne eng und denke weit."* In: *Stadt und Raum*, 3/2004: 156-158.
- Meyers Lexikon online (2009):** *Synergie.*
<http://lexikon.meyers.de/wissen/Synergie>, Zugriff: 02.03.2009.
- Microdyn-Nadir (2009):** *Telefonisches Interview.* am 02.03.2009.
- Ministry of Environmental Protection, P. C. (2008):** *The National Eleventh Five-Year Plan for Environmental Protection (2006-2010).*
http://english.mep.gov.cn/plans_reports/11th_five_year_plan/200803/t20080305_119001_1.htm.

- Ministry of Housing and Urban-Rural Development, P. C. (2002):** *Technische Standard für Planung der urbanen Wohnsiedlungen - GB 50180-1993, Novellierung März 2002.*
- Müller, A. & S. Schmitz (2001):** *Planen und Bauen über Grenzen - Vom Blueprint-Export zur Kooperation in globaler Verantwortung.* In: *Informationen zur Raumentwicklung*, 4/5/2001: 203-208.
- networks (o.J.):** *Nachhaltige Wasserwirtschaft.* Berlin.
- Nicholls, R. (2003):** *Case study on sea-level rise impacts - OECD Workshop on the benefits of climate policy: Improving information for policy makers.* Paris.
- Nowak, W. (2007):** *In the Beginning was the City.* In: Burdett, R. & D. Sudjic (Hrsg.), *The Endless City.* Phaidon, London [u.a.], S. 6-7.
- openPR (2008):** *IFAT CHINA 2008: Lösungen für die Klärschlamm Flut.*
<http://www.openpr.de/news/172992/IFAT-CHINA-2008-Loesungen-fuer-die-Klaerschlamm-Flut.html>, Zugriff: 10.03.2009.
- Otterpohl, R. (2001):** *Stand der Technik und Entwicklungen für den urbanen Bereich.* In: Wilderer, P. A.; Paris, S. & J. Wiesner (Hrsg.), *DESAR Kleine Kläranlagen und Wasserwiederverwendung.* Technische Universität München, Berichte aus Wassergüte- und Abfallwirtschaft. München, S. 23-41.
- Peter-Varbanets, M.; Zurbrügg, C.; Swartz, C. & W. Pronk (2009):** *Decentralized Systems for Potable Water and the Potential of Membrane Technology.* In: *Water Research*, 43: 245-265.
- Reicherter, E. (2003):** *Untersuchungen zu Kennzahlen als Grundlage für Kostenbetrachtungen in der Abwasserentsorgung.* Kommissionsverlag Oldenbourg Industrieverlag GmbH, München.
- Richter, N. & S. Thomas (2009):** *Perspektiven dezentraler Infrastrukturen im Spannungsfeld von Wettbewerb, Klimaschutz und Qualität - Endbericht der Forschungspartnerschaft INFRAFUTUR.* Peter Lang Verlag, Frankfurt am Main.
- ROG (1997):** *Raumordnungsgesetz vom 18. August 1997 (BGBl. I S. 2081, 2102), zuletzt geändert durch Artikel 10 des Gesetzes vom 9. Dezember 2006 (BGBl. I S. 2833).*
- Rohde, C. (2007):** *Milchsäurefermentation von biogenen Abfällen.* Technische Universität Darmstadt. Bauingenieurwesen und Geodäsie. Schriftenreihe WAR. Darmstadt.
- Rudolph, K.-U. (2004):** *The German System of Wastewater - A System for the World?.* Proceedings of the DeSa/R(r) Symposium. Berching/ Opf.
- Sasse, L. (1998):** *DEWATS - Decentralised Wastewater Treatment in Developing Countries.* BORDA - Bremen Overseas Research and Development Association, Delhi.
- Schätzl, L. (2001):** *Wirtschaftsgeographie 1 - Theorie.* Schöningh, Paderborn.

- Schmitt, T. G. (2006):** *Zeitgemäßer Umgang mit Regenwasser - dezentrale und zentrale Maßnahmen.* In: Pinnekamp, J. (Hrsg.), 1. Aachener Kongress Dezentrale Infrastruktur Wasser – Energie – Abfall am 17. und 18. Oktober 2006 in Aachen. Verein zur Förderung d. Siedlungswasserwirtschaft an der RWTH Aachen e.V., Gewässerschutz - Wasser - Abwasser (GWA). Aachen.
- Schönharting, J.; Barwisch, T.; Drobek, S. & S. Wolter (2007):** *Nachhaltige Entwicklung von Megacities: Energieeffiziente Strukturen für die Region Shanghai - Am Beispiel des Distrikts Fengxian.*
- Shanghai Statistical Bureau (2007):** *Total Households, Registered Population, Density of Population and Life Expendency (1978-2006).*
<http://www.stats-sh.gov.cn/2003shtj/tjn/nje07.htm?d1=2007tnje/e0301.htm>, Zugriff: 4.8.2008.
- Sedlmeier, P. (1996):** *Jenseits des Signifikanztest-Rituals: Ergänzungen und Alternativen.* In: *Methods of Psychological Research Online*, 1/4: 41-63.
- Speer, A. & S. Kornmann (2001):** *Nachhaltiger Städtebau im dynamischen Entwicklungsprozess der Metropole Schanghai.* In: *Informationen zur Raumentwicklung*, 4/5/2001: 227-240.
- spiegel online (2006):** *Riesen-Städte wuchern rasant.*
<http://www.spiegel.de/wissenschaft/mensch/0,1518,425962,00.html>,
 Zugriff: 11.7.2006.
- Stern, N. (2006):** *Stern Review: The Economics of Climate Change.* Cambridge University Press, Cambridge.
- Streese-Kleeberg, J.; Bade, O. & R. Stegmann (2006):** *Integriertes Konzept zur Dezentralen Abwasser- und Abfallbehandlung (INKONDA).* In: Pinnekamp, J. (Hrsg.), 1. Aachener Kongress Dezentrale Infrastruktur Wasser – Energie – Abfall am 17. und 18. Oktober 2006 in Aachen. Verein zur Förderung d. Siedlungswasserwirtschaft an der RWTH Aachen e.V., Gewässerschutz - Wasser - Abwasser (GWA). Aachen, S. 24/1-24/15.
- Suding, P. (2006):** *Umweltexperte der GTZ; zitiert nach Hirn, W. (2006) - Herausforderung China.*
- Taube, G.; Nitsche, U. & G. Peters (2006):** *Megastädte in Entwicklungsländern - Herausforderungen für die Entwicklungszusammenarbeit.*
- Tietz, H. (2007):** *Systeme der Ver- und Entsorgung - Funktionen und räumliche Strukturen.* Teubner, Wiesbaden.
- UBA (2008):** *Ressourcenverbrauch von Deutschland - Aktuelle Kennzahlen und Begriffsbestimmungen.*
- UN (2008):** *Demographic Yearbook - Fifty-eighth issue.* New York.
- UN-HABITAT (2006):** *State of the World's Cities 2006/7.*
- UN Water (2007):** *Coping with Water Scarcity – Every Drop Counts.* World Water Day 2007, 22.03.2007.
www.worldwaterday07.org.

- United Nations Population Division (2001):** *World Urbanization Prospects: The 2001 Revision.*
- UVPG (2005):** *Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung in der Fassung der Bekanntmachung vom 25. Juni 2005 (BGBl. I S. 1757, 2797), zuletzt geändert durch Artikel 7 der Verordnung vom 22. Dezember 2008 (BGBl. I S. 2986).*
- Weber, B.; Cornel, P.; Bieker, S.; Selz, A. & H. R. Böhm (2005):** *Semizentrale Ver- und Entsorgungssysteme - Ein Erfolgsfaktor für wachsende und schrumpfende Regionen gleichermaßen?. In: Hangebruch, N.; Kiehl, M.; Prossek, A.; Utku, Y. & K. Weiß (Hrsg.), Agglomerationen - Situation und Perspektiven Agglomerationen - Situation und Perspektiven. ARL, Hannover, S. 182-185.*
- Weber, B.; Cornel, P. & M. Wagner (2007):** *Semi-centralized Supply and Treatment Systems for (fast growing) Urban Areas. In: Water Science & Technology, 55/1-2: 349-356.*
- WHO (2000):** *Global Water Supply and Sanitation Assessment 2000 Report.*
- Wilderer, P. A. & S. Paris (2001a):** *Einführung in die Problematik. In: Wilderer, P. A.; Paris, S. & J. Wiesner (Hrsg.), DESAR Kleine Kläranlagen und Wasserwiederverwendung. Technische Universität München, Berichte aus Wassergüte- und Abfallwirtschaft. München.*
- Wilderer, P. A. & S. Paris (2001b):** *Integrierte Ver- und Entsorgungssysteme für urbane Gebiete - Abschlussbericht. München.*
- Wilderer, P. (2004):** *Sustainable Water Management in Urban Areas. Proceedings of the DeSa/R(r) Symposium. Berching,*
- Wilderer, P. (2007):** *Zentrale vs. dezentrale Abwasserbehandlung - für und wider -. 82. Darmstädter Seminar: Abwassertechnik, 15.11.2007, Darmstadt.*
- Worldbank (2007):** *Implementation completion and results report (IBRD-41790).*
- Zeck, H. (2003):** *Zentrale Orte als räumliches Konzept für Anpassungsstrategien. In: Informationen zur Raumentwicklung, 12/2003: 725-736.*
- Zhou, L. (1992):** *Exploitation and Saving (in Chinese Language). In: Country Analysis Report, No. 2: 219.*

Anhang

Verfahrensbeschreibungen

1 Ultrafiltration cross-flow (Judd 2006; Melin & Rautenbach 2003)

Grundsätzlich ist bei Filtern zwischen dead-end und cross-flow Verfahren zu unterscheiden. Die dead-end-Filtration stellt die klassische Filtrationstechnik dar (wie beim Kaffeefilter): Das Filtrat strömt durch den Filter.

Das cross-flow oder Querstromverfahren strömt das Filtrat innerhalb einer Querströmung am Filtermedium entlang. Durch die Querströmung werden Verblockungen und Fouling, die sich aus den Feststoffpartikeln des Filtrates absetzen können, minimiert, was den Energieaufwand des Systems langfristig stabilisiert.

Neben der Ultrafiltration unterscheidet man, je nach Porengröße und Filterleistung, drei weitere Filtratverfahren: Die Mikrofiltration mit Poren $> 0,1 \mu\text{m}$, die Ultrafiltration mit Porengrößen unter $0,01$ bis $0,01 \mu\text{m}$, die Nanofiltration mit $0,01$ bis $0,001 \mu\text{m}$ und die Umkehrosmose mit $< 0,001 \mu\text{m}$.

Die Ultrafiltration ist aufgrund ihrer Porengröße in der Lage Verschmutzungen von einer Größe über $0,01 \mu\text{m}$ zuverlässig zurückzuhalten, gelöste Stoffe und Salze passieren das Filtermedium. Das Filtrat der Ultrafiltration ist keimfrei: Sowohl Bakterien als auch Viren sind zu groß, um die Poren der Ultrafiltration zu passieren. Die Nanofiltration ist darüber hinaus in der Lage, organische Verbindungen zurückzuhalten.

2 Biofilter (BMBF 2009)

Biofilter gehören zu den Abwasserreinigungsverfahren, bei denen die Biomasse in Form eines Biofilms auf einer Aufwuchsfläche fixiert vorliegt. Zum einen werden Partikel durch Raumfiltration zurückgehalten und zum anderen findet ein biologischer Abbau durch den Biofilm statt. Ein Biofilter besteht im Allgemeinen aus einem vertikal durchströmten Filter, der mit einem Trägermaterial gefüllt ist. Dieses Material dient als Aufwuchsfläche für die Biomasse. Die überschüssige Biomasse wird durch eine Spülung entfernt. Bei Biofiltern wird zwischen kontinuierlich und diskontinuierlich gespülten Filtern unterschieden. Bei der diskontinuierlichen Spülung wird in bestimmten Intervallen die Abwasserbeschickung unterbrochen und das Filterbett mit Luft und Wasser gespült. Bei kontinuierlich gespülten Filtern (Rutschbettfilter, immer von unten nach oben durchströmt) wird das am meisten belegte Filtermaterial im unteren Bereich während des Filterbetriebes mit einer Mammutpumpe kontinuierlich entnommen und in einer Abscheidevorrichtung von Feststoffen und überschüssiger Biomasse befreit. Das gereinigte Filtermaterial rieselt auf das Filterbett zurück. Es ergibt sich eine relative Bewegung von Wasser und Sand in Gegenstrom, die vorteilhaft für den Filtrationsprozess ist, weil das zu behandelnde Wasser in Fließrichtung auf immer sauberen Sand trifft.

Bei Rutschbettfiltern ist eine Ausführung mit mehreren parallelen Zellen wie beim konventionellen Biofiltern nicht zwangsläufig erforderlich. Der größte Vorteil der Biofiltration gegenüber dem klassischen Belebungsverfahren besteht in der Kompaktheit der Anlagen. Basierend auf einer 100.000 E Modellanlage, würde eine Biofilteranlage nur ca. 25 % der Fläche und 30 % des Bauvolumens einer einstufigen Belebungsanlage einnehmen.

3 MBR, Membran-Bioreaktor (BMBF 2009; Melin & Rautenbach 2003; Judd 2006)

Im Unterschied zum konventionellen Belebungsverfahren wird im MBR die Nachklärung durch eine Membranfiltration substituiert. Dadurch wird generell eine höhere Eliminationsleistung erreicht als dies mit Verfahren wie dem SBR, der Biofiltration oder dem konventionellen Belebungsverfahren der Fall ist. Für den Einsatz zur Wiederverwendung erweist sich weiterhin von Vorteil, dass der Ablauf einer MBR Anlage als desinfiziert gilt, da beim Einsatz von Ultrafiltrationsmembranen, deren Porendurchmesser kleiner 0,2 μm ist, ein vollständiger Rückhalt von Bakterien gewährleistet wird.

Der Nachteil des MBR-Verfahrens liegt in den zwei- bis dreifach höheren Energie- und den höheren Wartungskosten. Der höhere Energieverbrauch ergibt sich aus dem intensiven Belüftungsbedarf für die Deckschichtkontrolle der Membran, um ein Verblocken der Membran zu verhindern. Der höheren Wartungsaufwand resultiert ebenfalls aus der Deckschichtkontrolle insbesondere wegen des Reinigungsaufwands. Da es sich um eine relativ junge Technologie im Bereich der Abwasserbehandlung handelt, gibt es kaum Aussagen bezüglich der tatsächlichen Lebensdauer der eingesetzten Membranmodule. Weiterhin besteht ausgiebiger Forschungsbedarf bezüglich der energetischen Optimierung und einer verbesserten Betriebsweise.

4 SBR, Sequencing Batch Reactor (BMBF 2009)

Das Prinzip des Sequencing Batch Reactors (SBR-Anlage) basiert auf dem konventionellen Belebungsverfahren. Allerdings findet die Abtrennung des Belebtschlammes durch Sedimentation im gleichen Becken statt. Die Dauer des Füllvorgangs und die Wassertemperatur spielen eine wichtige Rolle für die Reinigungsleistung des SBR-Verfahrens.

5 MBA (mechanisch-biologische Abfallbehandlung), anaerob (Jäger et al. 2002)

„Die mechanisch-biologische Behandlung von Restabfällen verfolgt folgende Ziele:

- Reduktion der Abfallmenge und des Kohlenstoffgehalts durch biologische Abbauprozesse

- Stabilisierung des organischen Materials
- Schadstoffentfrachtung
- Ausschleusung von Wertstoffen
- Gewinnung von Ersatzbrennstoffen

Bei der mechanisch-biologischen Restabfallbehandlung entsteht als Produkt ein gewisser Anteil an Abfällen der verwertet werden kann, während bei der Bioabfallbehandlung eine vollständige Verwertung des Produktes stattfindet. Durch die mechanisch-biologische Vorbehandlung wird eine Massenreduktion durch biologischen Abbau und damit verbunden eine Reduktion des Deponievolumens durch die bessere Verdichtbarkeit und die Verbesserung der Setzungseigenschaften erreicht. Weiterhin wird durch die Mineralisierung der organischen Bestandteile eine Reduktion der Emissionen (Deponiegas, Sickerwasser) bei der Deponierung erzielt. Das Verfahrensprinzip ist in zwei Stufen gegliedert: Die mechanische und die biologische Aufbereitung.

Die mechanische Aufbereitung des zu behandelnden Restmülls beinhaltet die Verfahrensschritte Sortierung, Siebung, Zerkleinerung und Homogenisierung. Die Ziele der mechanischen Aufbereitung sind:

- Entnahme vorhandener Wertstoffe
- Abtrennung von Stör- und Problemstoffen, die den Verfahrensablauf behindern
- Schadstoffentfrachtung
- Abtrennung von biologisch nicht abbaubaren Stoffgruppen, die gegebenenfalls stofflich oder thermisch verwertet werden können
- Optimale Konditionierung der biologisch zu behandelnden Stoffe für die anschließende Rotte

In der biologischen Behandlungsstufe sollen folgende Ziele erreicht werden:

- Stabilisierung durch Mineralisierung der organischen Bestandteile
- Reduzierung der anfallenden Menge und Belastung von Deponiegas und Sickerwasser
- Reduzierung der Masse und des Volumen des Restabfalls durch den biologischen Abbau
- Trocknung vor Verbrennung oder Ablagerung (Trockenstabilisierung)“

Eingangsdaten der Einzelbetrachtung der Module semizentraler Ver- und Entsorgungssysteme (BMBF 2006, 2009; Chang 2009; Microdyn-Nadir 2009)

Trinkwasseraufbereitung (Ultrafiltration cross-flow Verfahren)

Tabelle 0.1: Eingangsdaten Wasserversorgung: Größenrelevante Kosten für die Ultrafiltration im cross-flow Verfahren

<i>Einwohner</i>	<i>13.000</i>	<i>26.000</i>	<i>52.000</i>	<i>52.000</i>	<i>104.000</i>	<i>104.000</i>	<i>208.000</i>
<i>Trinkwasser (Ultrafiltration cross-flow)</i>	Fall1	Fall2	Fall3a	Fall3b	Fall4a	Fall4b	Fall5
Investitionskosten	1.355.768	2.486.897	4.213.348	4.100.727	6.718.708	6.325.709	10.536.440
[Summe in €]							
Ultrafiltration(sanlage)	405.000	759.375	1.451.250	1.451.250	2.126.250	2.126.250	2.700.000
Verteilernetz	234.598	517.452	1.091.828	979.207	2.385.356	1.992.357	4.169.352
Trinkwasserspeicher	266.112	511.488	775.008	775.008	920.000	920.000	1.667.500
Pumpstation	135.000	270.000	320.000	320.000	406.000	406.000	665.000
Pumpen	9.558	12.582	29.262	29.262	49.102	49.102	86.588
Bodenpreis - Ankauf Fläche (500 €/m²)	305.500	416.000	546.000	546.000	832.000	832.000	1.248.000
<i>Reinvestitionskosten</i>							
Membranersatz	303.750	569.531	1.088.438	1.088.438	1.594.688	1.594.688	2.025.000
Betriebs- und Unterhaltungskosten	37.437	65.989	123.141	119.840	212.110	203.800	365.148
[Summe in €/a]							
Energiebedarf Pumpwerk	15.943	24.440	50.458	48.283	101.616	97.236	203.232
Energiebedarf Ultrafiltration (Anlage)		einwohnerspezifisch, daher nicht-größenrelevant					
Chemikalienkosten		einwohnerspezifisch, daher nicht-größenrelevant					
Instandsetzung und Wartung							
3% Maschinentechnik	16.487	31.259	54.015	54.015	77.441	77.441	103.548

<i>Einwohner</i>	<i>13.000</i>	<i>26.000</i>	<i>52.000</i>	<i>52.000</i>	<i>104.000</i>	<i>104.000</i>	<i>208.000</i>
<i>Trinkwasser (Ultrafiltration cross-flow)</i>	Fall1	Fall2	Fall3a	Fall3b	Fall4a	Fall4b	Fall5
1% Bautechnik	5.007	10.289	18.668	17.542	33.054	29.124	58.369
Personal		einwohnerspezifisch, daher nicht-größenrelevant					
Energiebedarf Pumpwerk		einwohnerspezifisch, daher nicht-größenrelevant					

Tabelle 0.2: Kostenstabilität Sensitivitätsprüfung: Größenrelevante Kosten für die Ultrafiltration im cross-flow Verfahren

	Fall1	Fall2	Fall3a	Fall3b	Fall4a	Fall4b	Fall5
<i>Trinkwasser (Ultrafiltration cross-flow)</i>	<i>Angaben in [€/ (EW*d)]</i>						
Annuität bei Bodenpreis 200 €/ m² und stabilen Energiepreisen	0,049	0,045	0,041	0,041	0,032	0,031	0,023
Annuität bei Bodenpreis 500 €/ m ² und stabilen Energiepreisen	0,0507	0,0469	0,0423	0,0417	0,0325	0,0317	0,0236
Annuität bei Bodenpreis 200 €/ m² und jährl. 5 % Energiepreissteigerung	0,051	0,047	0,043	0,043	0,034	0,033	0,025
Annuität bei Bodenpreis 500 €/ m ² und jährl. 5 % Energiepreissteigerung	0,053	0,049	0,044	0,043	0,034	0,034	0,026
Annuität bei Bodenpreis 200 €/ m² und jährl. 10 % Energiepreissteigerung	0,056	0,051	0,048	0,047	0,038	0,037	0,029
Annuität bei Bodenpreis 500 €/ m ² und jährl. 10 % Energiepreissteigerung	0,059	0,053	0,048	0,048	0,039	0,038	0,030

Grauwasserbehandlung (Biofilter)

Tabelle 0.3: Eingangsdaten Grauwasserbehandlung: Größenrelevante Kosten für die Aufbereitung mittels Biofilter

<i>Einwohner</i>	13.000	26.000	52.000	52.000	104.000	104.000	208.000
<i>Grauwasser (Biofilter)</i>	Fall1	Fall2	Fall3a	Fall3b	Fall4a	Fall4b	Fall5
Investitionskosten [Summe in €]	5.853.776	10.273.457	17.992.447	17.595.258	32.073.105	31.338.359	57.706.115
Biofilter (Anlage, Bautechnik)	1.661.211	2.496.549	3.751.935	3.751.935	5.638.592	5.638.592	8.473.952
Maschinentechnik	1.473.149	2.213.920	3.327.188	3.327.188	5.000.261	5.000.261	7.514.637
Grauwasserspeicher	266.112	511.488	775.008	775.008	920.000	920.000	1.667.500
Kanalnetz (Grauwasser)	2.005.499	4.207.141	8.610.427	8.414.283	17.453.385	17.220.854	34.906.769
Drucknetz (Brauchwasser)	208.944	443.209	950.229	840.047	2.156.135	1.754.807	3.722.950
Pumpen Grauwasser (Kanalnetz)	98.115	124.466	248.756	157.893	484.637	383.750	726.045
Pumpen Drucknetz (Brauchwasser)	5.746	6.684	8.904	8.904	14.096	14.096	29.262
Pumpwerk (Gebäude)	135.000	270.000	320.000	320.000	406.000	406.000	665.000
Bodenpreis - Ankauf Fläche (500 €/m²)	100.060	199.735	309.630	309.630	400.825	400.825	792.323
Betriebs- und Unterhaltungskosten [Summe in €/a]	96.083	160.180	273.156	265.606	480.343	460.137	823.994
Energiekosten [bei 0,1 €/ kWh]	6.005	10.544	21.534	19.774	49.632	38.791	81.534
Energiebedarf Pumpen Grauwasser [kWh a]	6.523	17.838	53.281	35.676	165.190	65.543	167.978
Energiebedarf Pumpen Brauchwasser [kWh/a]	53.524	87.600	162.060	162.060	331.128	322.368	647.364
Energiebedarf Biofilter (Anlage) [kWh/a]							
Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffe							
Instandsetzung und Wartung							
3% Maschinentechnik [€/a]	47.310	70.352	107.545	104.820	164.970	161.943	248.098
1% Bautechnik [€/a]	42.768	79.284	144.076	141.013	265.741	259.403	494.362

Einwohner	13.000	26.000	52.000	52.000	104.000	104.000	208.000
Grauwasser (Biofilter)	Fall1	Fall2	Fall3a	Fall3b	Fall4a	Fall4b	Fall5
Personal [€/a]	<i>einwohnerspezifisch, daher nicht-größenrelevant</i>						

Tabelle 0.4: Kostenstabilität Sensitivitätsprüfung: Größenrelevante Kosten für die Grauwasseraufbereitung mittels Biofilter

	Fall1	Fall2	Fall3a	Fall3b	Fall4a	Fall4b	Fall5
<i>Grauwasser (Biofilter)</i>	<i>Angaben in [€/ (EW*d)]</i>						
Annuität bei Bodenpreis 200 €/ m² und stabilen Energiepreisen	0,114	0,096	0,082	0,080	0,071	0,069	0,062
Annuität bei Bodenpreis 500 €/ m ² und stabilen Energiepreisen	0,115	0,097	0,082	0,081	0,072	0,070	0,062
Annuität bei Bodenpreis 200 €/ m² und jährl. 5 % Energiepreissteigerung	0,115	0,097	0,083	0,081	0,072	0,070	0,063
Annuität bei Bodenpreis 500 €/ m ² und jährl. 5 % Energiepreissteigerung	0,116	0,097	0,083	0,081	0,073	0,071	0,063
Annuität bei Bodenpreis 200 €/ m² und jährl. 10 % Energiepreissteigerung	0,117	0,098	0,085	0,082	0,074	0,072	0,065
Annuität bei Bodenpreis 500 €/ m ² und jährl. 10 % Energiepreissteigerung	0,118	0,099	0,085	0,083	0,075	0,072	0,065

Schwarzwasserbehandlung (Biofilter)

Tabelle 0.5: Eingangsdaten Schwarzwasserbehandlung: Größenrelevante Kosten für die Behandlung mittels Biofilter

<i>Einwohner</i>	13.000	26.000	52.000	52.000	104.000	104.000	208.000
<i>Schwarzwasser (Biofilter)</i>	Fall1	Fall2	Fall3a	Fall3b	Fall4a	Fall4b	Fall5
Investitionskosten [Summe in €]	5.439.429	9.682.480	17.451.490	17.152.003	31.767.985	31.394.725	57.853.821
Biofilter (Anlage, Bautechnik)	1.762.55	2.825.230	4.528.610	4.528.610	7.258.988	7.258.988	11.635.557
Maschinentechnik	1.563.02	2.505.393	4.015.937	4.015.937	6.437.215	6.437.215	10.318.324
Kanalnetz	2.005.49	4.207.141	8.622.556	8.414.283	17.516.279	17.245.111	35.032.558
Pumpen	98.115	124.466	249.107	157.893	486.383	384.290	728.662
Bodenpreis - Ankauf Fläche (500 €/m²)	10.240	20.250	35.280	35.280	69.120	69.120	138.720
Betriebs- und Unterhaltungskosten [Summe in €/a]							
Energiekosten [bei 0,1 €/ kWh]	812	2.219	5.565	4.439	11.130	17.756	22.261
Energiebedarf Pumpen Schwarzwasser [kWh/a]	8.116	22.194	55.652	44.389	111.304	177.556	222.607
Energiebedarf Biofilter (Anlage) [kWh/a]			<i>einwohnerspezifisch, daher nicht-größenrelevant</i>				
Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffe			<i>einwohnerspezifisch, daher nicht-größenrelevant</i>				
Instandsetzung und Wartung							
3% Maschinentechnik [€/a]	49.834	78.896	127.951	125.215	207.708	204.645	331.410
1% Bautechnik [€/a]	37.681	70.324	131.512	129.429	247.753	245.041	466.681
Personal [€/a]			<i>einwohnerspezifisch, daher nicht-größenrelevant</i>				

Tabelle 0.6: Kostenstabilität Sensitivitätsprüfung: Größenrelevante Kosten für die Schwarzwasserbehandlung mittels Biofilter

	Fall1	Fall2	Fall3a	Fall3b	Fall4a	Fall4b	Fall5
<i>Schwarzwasser (Biofilter)</i>	<i>Angaben in [€/(EWV*d)]</i>						
Annuität bei Bodenpreis 200 €/ m² und stabilen Energiepreisen	0,110 €	0,095 €	0,083 €	0,081 €	0,073 €	0,073 €	0,065 €
Annuität bei Bodenpreis 500 €/ m ² und stabilen Energiepreisen	0,110 €	0,095 €	0,083 €	0,081 €	0,074 €	0,073 €	0,065 €
Annuität bei Bodenpreis 200 €/ m² und jährl. 5 % Energiepreissteigerung	0,110 €	0,095 €	0,083 €	0,082 €	0,074 €	0,073 €	0,065 €
Annuität bei Bodenpreis 500 €/ m ² und jährl. 5 % Energiepreissteigerung	0,110 €	0,095 €	0,083 €	0,082 €	0,074 €	0,073 €	0,065 €
Annuität bei Bodenpreis 200 €/ m² und jährl. 10 % Energiepreissteigerung	0,110 €	0,095 €	0,084 €	0,082 €	0,074 €	0,074 €	0,066 €
Annuität bei Bodenpreis 500 €/ m ² und jährl. 10 % Energiepreissteigerung	0,110 €	0,095 €	0,084 €	0,082 €	0,074 €	0,074 €	0,066 €

Integrierte Abfall- und Klärschlammbehandlung (MBA anaerob-Verfahren)

Tabelle 0.7: Eingangsdaten: Größenrelevante Kosten für die integrierte Abfall- und Klärschlammbehandlung mittels MBA anaerob-Verfahren

<i>Einwohner</i>	13.000	26.000	52.000	52.000	104.000	104.000	208.000
<i>MBA (anaerob)</i>	Fall1	Fall2	Fall3a	Fall3b	Fall4a	Fall4b	Fall5
Investitionskosten [Summe in €]	9.530.362	11.449.744	15.598.508	15.598.508	24.016.035	24.016.035	40.851.089
Bautechnik	6.238.874	7.170.620	9.034.112	9.034.112	12.761.096	12.761.096	20.215.064
Anlagentechnik	2.431.488	3.329.124	5.124.395	5.124.395	8.714.939	8.714.939	15.896.025
Sammelfahrzeuge	340.000	340.000	340.000	340.000	340.000	340.000	340.000
Radlader			<i>einwohnerspezifisch, daher nicht-größenrelevant</i>				
Bodenpreis - Ankauf Fläche (500 €/m ²)	520.000	610.000	1.100.000	1.100.000	2.200.000	2.200.000	4.400.000
Betriebs- und Unterhaltungskosten [Summe in €/a]	145.533	242.059	495.391	374.832	1.363.731	881.495	2.618.176
Energiekosten [€/a] bei 0,1 €/ kWh	0	60.280	241.118	120.559	964.472	482.236	1.928.945
größenrelevanter Energiebedarf Gesamtsystem [kWh/a]	0	602.795	2.411.181	1.205.590	9.644.723	4.822.361	19.289.445
Energiebedarf Behandlung [kWh/(EW*d)]			<i>einwohnerspezifisch, daher nicht-größenrelevant</i>				
Energiebedarf Sammlung und Transport	0	602.795	2.411.181	1.205.590	9.644.723	4.822.361	19.289.445
Transport innerhalb der Zelle (= Sammlung)			<i>einwohnerspezifisch, daher nicht-größenrelevant</i>				
Transport v. Rand der Zelle zur Behandlung	0,000	0,064	0,127	0,064	0,254	0,127	0,254
Ferntransport (Behandlung zur Deponie)			<i>stabil, daher nicht größenrelevant</i>				
Personal			<i>einwohnerspezifisch, daher nicht-größenrelevant</i>				
Instandsetzung und Wartung							
3% bei Maschinen	83.145	110.074	163.932	163.932	271.648	271.648	487.081
1% bei Bautechnik	62.389	71.706	90.341	90.341	127.611	127.611	202.151

Tabelle 0.8: Kostenstabilität Sensitivitätsprüfung: Größenrelevante Kostender integrierte Abfall- und Klärschlammbehandlung mittels MBA anaerob-Verfahren

	Fall1	Fall2	Fall3a	Fall3b	Fall4a	Fall4b	Fall5
<i>MBA (anaerob)</i>	<i>Angaben in [€/(EW*d)]</i>						
Annuität bei Bodenpreis 200 €/ m² und stabilen Energiepreisen	0,165 €	0,108 €	0,082 €	0,076 €	0,079 €	0,066 €	0,071 €
Annuität bei Bodenpreis 500 €/ m ² und stabilen Energiepreisen	0,165 €	0,108 €	0,082 €	0,076 €	0,079 €	0,066 €	0,071 €
Annuität bei Bodenpreis 200 €/ m² und jährl. 5 % Energiepreissteigerung	0,165 €	0,113 €	0,092 €	0,080 €	0,098 €	0,076 €	0,090 €
Annuität bei Bodenpreis 500 €/ m ² und jährl. 5 % Energiepreissteigerung	0,165 €	0,113 €	0,092 €	0,080 €	0,098 €	0,076 €	0,090 €
Annuität bei Bodenpreis 200 €/ m² und jährl. 10 % Energiepreissteigerung	0,168 €	0,125 €	0,114 €	0,092 €	0,142 €	0,098 €	0,134 €
Annuität bei Bodenpreis 500 €/ m ² und jährl. 10 % Energiepreissteigerung	0,172 €	0,127 €	0,116 €	0,094 €	0,144 €	0,100 €	0,136 €

In der Schriftenreihe WAR sind erschienen:

WAR 1	Brunnenalterung Wassertechnisches Seminar am 13.10.1978, TH Darmstadt, 1980	10,30 €
WAR 2	Festschrift zum 60. Geburtstag von Prof. Dr.-Ing. Günther Rincke. TH Darmstadt, 1979	vergriffen
WAR 3	Gniodorsch, Lothar Georg: Ein Beitrag über den Einfluß der in Abhängigkeit von der verfahrensmäßigen Durchführung der biologischen Abwasserreinigung bedingten Schlamm-eigen- schaften auf die Schlammmentwässerung und anschließende Verbrennung. Dissertation, FB 13, TH Darmstadt, 1979	vergriffen
WAR 4	Grundwassergewinnung mittels Filterbrunnen. 2. Wassertechnisches Seminar am 11.04.1980, TH Darmstadt, 1981	vergriffen
WAR 5	Rudolph, Karl-Ulrich: Die Mehrdimensionale Bilanzrechnung als Entscheidungsmodell der Wassergütwirtschaft. Dissertation, FB 13, TH Darmstadt, 1980	vergriffen
WAR 6	Hantke, Hartmut: Vergleichende Bewertung von Anlagen zur Grundwasseranreicherung. Dissertation, FB 13, TH Darmstadt, 1981	vergriffen
WAR 7	Riegler, Günther: Eine Verfahrensgegenüberstellung von Varianten zur Klärschlammstabilisierung. Dissertation, FB 13, TH Darmstadt, 1981	vergriffen
WAR 8	Technisch-wissenschaftliche Grundlagen für Wasserrechtsverfahren in der öffentlichen Wasserversorgung. 3. Wassertechnisches Seminar am 05.und 06.03.1981, TH Darmstadt, 1982	25,60 €
WAR 9	Geruchsemissionen aus Abwasseranlagen. 4. Wassertechnisches Seminar am 15.10.1981, TH Darmstadt, 1982	vergriffen
WAR 10	Stadtplanung und Siedlungswasserwirtschaft in Entwicklungsländern.- Aspekte der Projektdurchführung. Vorträge in den Jahren 1980 - 1981. TH Darmstadt, 1982	vergriffen
WAR 11	Hierse, Wilfried: Untersuchungen über das Verhalten phosphathaltiger Schlämme unter anaeroben Bedingungen. Dissertation, FB 13, TH Darmstadt, 1982	vergriffen

WAR 12	Gossel, Hans: Untersuchungen zum Verhalten von Belebungsanlagen bei Stoßbelastungen. Dissertation, FB 13, TH Darmstadt, 1982	vergriffen
WAR 13	Hanel, Robert: Der Sauerstoffeintrag und seine Messung beim Belebungsverfahren unter besonderer Beachtung der Viskosität und Oberflächenspannung. Dissertation, FB 13, TH Darmstadt, 1982	vergriffen
WAR 14	Cichorowski, Georg: Regionale Differenzierung in der Gewässergütwirtschaft. Dissertation, FB 13, TH Darmstadt, 1982	vergriffen
WAR 15	Schreiner Horst: Stofftausch zwischen Sediment und Wasserkörper in gestauten Fließgewässern. Dissertation, FB 13, TH Darmstadt, 1982	vergriffen
WAR 16	Grundwasserbewirtschaftung - Grundwassermodelle, Grundwasseranreicherung 5. Wassertechnisches Seminar am 08.10.1982, TH Darmstadt, 1982	vergriffen
WAR 17	Rüthrich, Wulf: Abhängigkeit des Verhaltens der Wohnbevölkerung von Verkehrsimmissionen. Dissertation, FB 13, TH Darmstadt, 1982	vergriffen
WAR 18	Hill, Stefan: Untersuchungen über die Wechselwirkungen zwischen Porenverstopfung und Filterwiderstand mittels Tracermessungen. Dissertation, FB 13, TH Darmstadt, 1983	25,60 €
WAR 19	Kaltenbrunner, Helmut: Wasserwirtschaftliche Auswirkungen der Kühlverfahren von Kraftwerken und von Abwärmeeinleitungen in Fließgewässern. Dissertation, FB 13, TH Darmstadt, 1983	25,60 €
WAR 20	Roeles, Gerd: Auswirkungen von Müllverbrennungsanlagen auf die Standortumgebung - Analyse der Wahrnehmungen von Störungen und Belästigungen. Dissertation, FB 13, TH Darmstadt, 1982	vergriffen
WAR 21	Niehoff, Hans-Hermann: Untersuchungen zur weitergehenden Abwasserreinigung mit vorwiegend biologischen Verfahrensschritten unter besonderer Berücksichtigung der Grundwasseranreicherung. Dissertation, FB 13, TH Darmstadt, 1983	vergriffen
WAR 22	Biologische Verfahren in der Wasseraufbereitung. 6. Wassertechnisches Seminar am 06.04.1984, TH Darmstadt, 1985	vergriffen

WAR 23	Optimierung der Belüftung und Energieeinsparung in der Abwassertechnik durch Einsatz neuer Belüftungssysteme. 7. Wassertechnisches Seminar am 16.11.1984, TH Darmstadt, 1985	vergriffen
WAR 24	Wasserverteilung und Wasserverluste. 8. Wassertechnisches Seminar am 30.05.1985, TH Darmstadt, 1985	vergriffen
WAR 25	Professor Dr. rer. nat. Wolters zum Gedächtnis - 1. Januar 1929 bis 26. Februar 1985. Beiträge von Kollegen, Schülern und Freunden. TH Darmstadt, 1986	vergriffen
WAR 26	Naturnahe Abwasserbehandlungsverfahren im Leistungsvergleich - Pflanzenkläranlagen und Abwasserteiche - 9. Wassertechnisches Seminar am 07.11.1985, TH Darmstadt, 1986	vergriffen
WAR 27	Heuser, Ernst-Erich: Gefährdungspotentiale und Schutzstrategien für die Grundwasservorkommen in der Bundesrepublik Deutschland. Dissertation, FB 13, TH Darmstadt, 1986	vergriffen
WAR 28	Rohrleitungen und Armaturen in der Wasserversorgung 10. Wassertechnisches Seminar am 24.04.1986, TH Darmstadt, 1986	vergriffen
WAR 29	Bau, Kurt: Rationeller Einsatz der aerob-thermophilen Stabilisierung durch Rohschlamm- Vorentwässerung. Dissertation, FB 13, TH Darmstadt, 1986	vergriffen
WAR 30	Wehenpohl, Günther: Selbsthilfe und Partizipation bei siedlungswasserwirtschaftlichen Maßnahmen in Entwicklungsländern -Grenzen und Möglichkeiten in städtischen Gebieten unterer Einkommensschichten. Dissertation, FB 13, TH Darmstadt, 1987	vergriffen
WAR 31	Stickstoffentfernung bei der Abwasserreinigung - Nitrifikation und Denitrifikation - 11. Wassertechnisches Seminar am 13.11.1986, TH Darmstadt, 1987	vergriffen
WAR 32	Neuere Erkenntnisse beim Bau und Betrieb von Vertikalfilterbrunnen. 12. Wassertechnisches Seminar am 14.05.1987, TH Darmstadt, 1987	vergriffen

WAR 33	Ist die landwirtschaftliche Klärschlammverwertung nutzbringende Düngung oder preiswerte Abfallbeseitigung?- Standpunkte und Argumente -. 13. Wassertechnisches Seminar am 12.11.1987, TH Darmstadt, 1988	vergriffen
WAR 34	Automatisierung in der Wasserversorgung - auch für kleinere Unternehmen 14. Wassertechnisches Seminar am 09.06.1988, TH Darmstadt, 1988	33,20 €
WAR 35	Erkundung und Bewertung von Altlasten -Kriterien und Untersuchungsprogramme-. 15. Wassertechnisches Seminar am 12.10.1988, TH Darmstadt, 1989	vergriffen
WAR 36	Bestimmung des Sauerstoffzufuhrvermögens von Belüftungssystemen in Reinwasser und unter Betriebsbedingungen. Workshop am 15. u. 16.03.1988, TH Darmstadt, 1989	vergriffen
WAR 37	Belüftungssysteme in der Abwassertechnik - Fortschritte und Perspektiven -. 16. Wassertechnisches Seminar am 10.11.1988, TH Darmstadt, 1989	vergriffen
WAR 38	Farinha, Joao António Muralha Ribeiro: Die stufenweise Versorgung mit Anlagen der Technischen Infrastruktur in Abhängigkeit von der Entwicklung der sozioökonomischen Verhältnisse der Bevölkerung - dargestellt am Beispiel der Bairros Clandestinos der Region Lissabon-. Dissertation, FB 13, TH Darmstadt, 1989	vergriffen
WAR 39	Sicherstellung der Trinkwasserversorgung Maßnahmen und Strategien für einen wirksamen Grundwasserschutz zur langfristigen Erhaltung der Grundwassergewinnung. 17. Wassertechnisches Seminar am 01.06.1989, TH Darmstadt, 1989	33,20 €
WAR 40	Regenwassernutzung in privaten und öffentlichen Gebäuden -Qualitative und quantitative Aspekte, technische Anlagen-. Studie für den Hessischen Minister für Umwelt und Reaktorsicherheit. TH Darmstadt, 1981	vergriffen
WAR 41	Folgenutzen kontaminierter Betriebsflächen unter besonderer Berücksichtigung der Sanierungsgrenzen. 18. Wassertechnisches Seminar am 11.10.1989, TH Darmstadt, 1989	vergriffen
WAR 42	Privatisierung öffentlicher Abwasseranlagen -Ein Gebot der Stunde ? 19. Wassertechnisches Seminar am 09.11.1989, TH Darmstadt, 1989	30,70 €

WAR 43	Pöpel, H. Johannes; Joachim Glasenapp; Holger Scheer: Planung und Betrieb von Abwasserreinigungsanlagen zur Stickstoffelimination. Gutachten für das Hess. Ministerium für Umwelt und Reaktorsicherheit, TH Darmstadt, 1990	35,80 €
WAR 44	Abfallentsorgung Hessen. Standpunkte - Gegensätze - Perspektiven Abfallwirtschaftliches Symposium am 31.10.1989, TH Darmstadt, 1990	30,70 €
WAR 45	Brettschneider, Uwe: Die Bedeutung von Sulfaten in der Siedlungswasserwirtschaft und ihre Entfernung durch Desulfurikation. Dissertation, FB 13, TH Darmstadt, 1990	vergriffen
WAR 46	Grabenlose Verlegung und Erneuerung von nicht begehbaren Leitungen - Verfahren, Anwendungsgrenzen, Erfahrungen und Perspektiven-. 20. Wassertechnisches Seminar am 29.03.1990, TH Darmstadt, 1990	35,80 €
WAR 47	Härtel, Lutz: Modellansätze zur dynamischen Simulation des Belebtschlammverfahrens. Dissertation, FB 13, TH Darmstadt, 1990	vergriffen
WAR 48	Pflanzenkläranlagen - besser als ihr Ruf? 21. Wassertechnisches Seminar am 18.09.1990, TH Darmstadt, 1990	vergriffen
WAR 49	Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) in der Wasserwirtschaft - administrativer Wildwuchs oder ökologische Keule? Dokumentation der Beiträge zum Interdisziplinären Kolloquium am 23.02.1990 und zum Sachverständigengespräch am 23.02.1990, TH Darmstadt, 1991	vergriffen
WAR 50	UVP in der abfallwirtschaftlichen Planung. 22. Wassertechnisches Seminar am 18.10.1990, TH Darmstadt, 1991	vergriffen
WAR 51	Biologische und chemische Phosphatelimination - Technische Möglichkeiten und Grenzen -. 23. Wassertechnisches Seminar am 15.11.1990, TH Darmstadt, 1991	35,80 €
WAR 52	Pöpel, H. Johannes; Tankred Börner: Wurzelraum-Modellanlage Hofgeismar-Beberbeck -Pilotprojekt des Landes Hessen. Gutachten für das Hess. Ministerium für Umwelt und Reaktorsicherheit. TH Darmstadt, 1991	vergriffen

WAR 53	Wagner, Martin: Einfluß oberflächenaktiver Substanzen auf Stoffaustauschmechanismen und Sauerstoffeintrag. Dissertation, FB 13, TH Darmstadt, 1991	35,80 €
WAR 54	Belüftungssysteme in der Abwassertechnik 1991 - Fortschritte und Perspektiven -. 1. gemeinsames Abwassertechnisches Seminar mit der Hochschule für Architektur und Bauwesen Weimar am 11. und 12.04. 1991 in Weimar, TH Darmstadt, 1991	30,70 €
WAR 55	Neuere gesetzliche Anforderungen und moderne technische Lösungen zur Sicherung der Wasserversorgung - Erkennen, Vermeiden und Beseitigen von Schadstoffen - 24. Wassertechnisches Seminar am 16.05.1991 TH Darmstadt, 1991	vergriffen
WAR 56	Zhang, Jiansan: Energiebilanzierung anaerob-mesophiler Stabilisierungsanlagen mit vorgeschalteter aerob-thermophiler Stufe Dissertation, FB 13, TH Darmstadt, 1991	vergriffen
WAR 57	Glaserapp, Joachim: Leistungsfähigkeit und Wirtschaftlichkeit von Verfahrensvarianten zur Stickstoffelimination beim Belebtschlammverfahren. Dissertation, FB 13, TH Darmstadt, 1992	vergriffen
WAR 58	Börner, Tankred: Einflußfaktoren für die Leistungsfähigkeit von Pflanzenkläranlagen. Dissertation, FB 13, TH Darmstadt, 1992	vergriffen
WAR 59	Erzmann, Michael: Untersuchungen zur biologischen Elimination von chlorierten Lösemitteln aus Abwasser. Dissertation, FB 13, TH Darmstadt, 1992	35,80 €
WAR 60	Erfassung und Sanierung schadhafter Abwasserkanäle. 26. Wassertechnisches Seminar am 28.11.1991 TH Darmstadt, 1992	35,80 €
WAR 61	Realisierung von Entsorgungsanlagen Umsetzungsprobleme und Lösungsansätze aus planerischer, verwaltungsrechtlicher und politischer Sicht. 25. Wassertechnisches Seminar am 07.11.1991, TH Darmstadt, 1992	vergriffen
WAR 62	Koziol, Matthias: Umwelteffekte durch Förderung von Energieeinsparmaßnahmen in innerstädtischen Althausgebieten. Dissertation, FB 13, TH Darmstadt, 1992	25,60 €

WAR 63	Lautner, Gerd: Einführung in das Bauordnungsrecht. 7. erw. Auflage TH Darmstadt, 1992	vergriffen
WAR 64	Abwasserkanäle - Bemessung, Ausführung, Sanierung - 2. gemeinsames Seminar -Abwassertechnik- mit der Hochschule für Architektur und Bauwesen Weimar am 18. und 19.03.1992 in Weimar, TH Darmstadt, 1992	vergriffen
WAR 65	Optimierung der Grundwassergewinnung über Filterbrunnen Neue Bau- und Betriebserkenntnisse - 27. Wassertechnisches Seminar am 21.05.1992, TH Darmstadt, 1992	vergriffen
WAR 66	Kläschlammbehandlung und Klärschlamm Entsorgung -Stand und Entwicklungstendenzen- 31. Darmstädter Seminar -Abwassertechnik- am 12.11.1992, TH Darmstadt, 1992	35,80 €
WAR 67	Kreislaufwirtschaft Bau - Stand und Perspektiven beim Recycling von Baurestmassen- 32. Darmstädter Seminar -Abfalltechnik- am 09.03.1993, TH Darmstadt, 1993	30,70 €
WAR 68	Bewertung von Geruchsemissionen und -immissionen 29. Darmstädter Seminar -Immissionsschutz- am 08.10.1992, TH Darmstadt, 1993	25,60 €
WAR 69	Möglichkeiten und Grenzen der Klärschlamm Entsorgung 3. gemeinsames Seminar -Abwassertechnik- mit der Hochschule für Architektur und Bauwesen Weimar am 31.03. und 01.04.1993, TH Darmstadt, 1993	46,-- €
WAR 70	Sichere Wasserversorgung durch moderne Rohrleitungstechnik 33. Darmstädter Seminar -Wasserversorgungstechnik- am 11.03.1993, TH Darmstadt, 1993	30,70 €
WAR 71	Aktuelle Aufgaben der Abwasserreinigung und Schlammbehandlung 35. Darmstädter Seminar -Abwassertechnik- am 05. + 06.05.1993, TH Darmstadt, 1993	46,-- €
WAR 72	Raumordnungsverfahren mit Umweltverträglichkeitsprüfung und Umweltleitbilder für die Landes- und Regionalplanung 28. und 30. Darmstädter Seminar -Raumplanung- am 17.09. + 05.11.1992, TH Darmstadt, 1993	40,90 €

WAR 73	Grohmann, Walter: Vergleichende Untersuchungen von Belüftungs- und Durchmischungssystemen zur bioverfahrenstechnischen Optimierung der aerob-thermophilen Stabilisation (ATS). Dissertation, FB 13, TH Darmstadt, 1993	35,80 €
WAR 74	Dioxinimmissionen und Quellen 34. Darmstädter Seminar -Immissionsschutz- am 15.04.1993, TH Darmstadt, 1994	30,70 €
WAR 75	Betrieb von Abwasserbehandlungsanlagen Optimierung, Prozeßstabilität, Kosteneinsparung 36. Darmstädter Seminar -Abwassertechnik- am 04.11.1993 in Darmstadt und 5. gemeinsames Seminar -Abwassertechnik- mit der Fakultät Bauingenieurwesen der Hochschule für Architektur und Bauwesen Weimar am 23. und 24.03.1994 in Weimar, TH Darmstadt, 1994	46,-- €
WAR 76	Umweltgerechte Ausweisung und Erschließung von Gewerbegebieten 4. gemeinsames Seminar -Umwelt- und Raumplanung- mit der Fakultät Architektur, Stadt- und Regionalplanung der Hochschule für Architektur und Bauwesen Weimar am 08. und 09.09.1993 in Weimar, TH Darmstadt, 1994	vergriffen
WAR 77	Von der Umweltverträglichkeitsprüfung zum kooperativen Planungsmanagement. -Das Scoping-Verfahren als erste Stufe!?- 37. Darmstädter Seminar -Umwelt- und Raumplanung- am 11.11.1993, TH Darmstadt, 1994	vergriffen
WAR 78	Modellbildung und intelligente Steuerungssysteme in der Umwelttechnik. 38. Darmstädter Seminar -Abfalltechnik- am 24.02.1994, TH Darmstadt, 1994	vergriffen
WAR 79	Brauchwassernutzung in Haushalten und Gewerbebetrieben - Ein Gebot der Stunde? 39. Darmstädter Seminar -Wasserversorgungstechnik- am 17.03.1994, TH Darmstadt, 1994	25,60 €
WAR 80	Restabfallbehandlung in Hessen 41. Darmstädter Seminar -Abfalltechnik- mit dem Hessischen Ministerium für Umwelt, Energie und Bundesangelegenheiten -HMUEB- am 16.06.1994, TH Darmstadt, 1994	vergriffen
WAR 81	Umweltbeeinflussung durch biologische Abfallbehandlungsverfahren 42. Darmstädter Seminar -Abfalltechnik- mit dem Institut für Hygiene der FU Berlin und dem Institut für Meteorologie der TH Darmstadt am 08. und 09.09.1994 in Berlin, TH Darmstadt, 1994	46,-- €

WAR 82	Zeitgemäße Planung von Anlagen der Ortsentwässerung -Kanäle, Bauwerke, Sonderbauwerke- 6. gemeinsames Seminar -Abwassertechnik- mit der Fakultät Bauingenieurwesen der Hochschule für Architektur und Bauwesen Weimar am 15. und 16.03.1995 in Weimar, TH Darmstadt, 1995	vergriffen
WAR 83	Grundwasseranreicherung -Stand der Technik und neuere Entwicklungen- 44. Darmstädter Seminar -Wasserversorgungstechnik- mit dem Verein des Gas- und Wasserfaches e.V. -DVGW- am 26.04.1994, TH Darmstadt, 1995	30,70 €
WAR 84	Auswirkungen der Phosphorelimination auf die Schlammbehandlung Theoretische Erkenntnisse und praktische Erfahrungen Workshop vom 24. bis 25. November 1994, TH Darmstadt, 1995	30,70 €
WAR 85	Stickstoffelimination mit oder ohne externe Substrate ? - Erfahrungen und Überlegungen - 43. Darmstädter Seminar -Abwassertechnik- in Abstimmung mit der Abwassertechnischen Vereinigung e.V. (ATV) am 09.11.1994, TH Darmstadt, 1995	Vergriffen
WAR 85	Stickstoffelimination mit oder ohne externe Substrate ? - Erfahrungen und Überlegungen - 2. Auflage Wiederholung des 43. Darmstädter Seminars -Abwassertechnik- in Abstimmung mit der Abwassertechnischen Vereinigung e.V. (ATV) am 01.02.1996 in Düsseldorf TH Darmstadt, 1996	35,80 €
WAR 86	Möglichkeiten und Grenzen der Einsparung von Investitions- und Betriebskosten bei der Abwasserbehandlung 47. Darmstädter Seminar -Abwassertechnik- am 15.11.1995, TH Darmstadt, 1995	40,90 €
WAR 87	Jardin, Norbert: Untersuchungen zum Einfluß der erhöhten biologischen Phosphorelimination auf die Phosphordynamik bei der Schlammbehandlung. Dissertation, FB 13, TH Darmstadt, 1996	35,80 €
WAR 88	Thermische Restabfallbehandlung für kleine Planungsräume. 45. Darmstädter Seminar -Abfalltechnik- am 22.06.1995 in Hanau, TH Darmstadt, 1996	35,80 €
WAR 89	Ferber, Uwe: Aufbereitung und Revitalisierung industrieller Brachflächen in den traditionellen Industrieregionen Europas. Sonderprogramme im Vergleich. Dissertation, FB 13, TH Darmstadt 1996	25,60 €

WAR 90	Mechanisch-biologische Restabfallbehandlung unter Einbindung thermischer Verfahren für Teilfraktionen. 48. Darmstädter Seminar -Abfalltechnik- am 29.02.1996, TH Darmstadt, 1996	40,90 €
WAR 91	Neuere Erkenntnisse bei Planung, Bau, Ausrüstung und Betrieb von Abwasserbehandlungsanlagen. 7. gemeinsames Seminar -Abwassertechnik- mit der Fakultät Bauingenieurwesen der Bauhaus-Universität Weimar am 11. und 12.09.1996 in Weimar, TH Darmstadt, 1996	40,90 €
WAR 92	Hygiene in der Abfallwirtschaft. 50. Darmstädter Seminar -Abfalltechnik- am 17.10.1996, TH Darmstadt, 1996	30,70 €
WAR 93	Europäische Richtlinien und Normen zur Abwassertechnik -Konsequenzen und Folgerungen für die Praxis in Deutschland-. 51. Darmstädter Seminar -Abwassertechnik- am 14.11.1996, TH Darmstadt, 1996	25,60 €
WAR 94	Dickhaut, Wolfgang: Möglichkeiten und Grenzen der Erarbeitung von Umweltqualitätszielkonzepten in kooperativen Planungsprozessen. -Durchführung und Evaluierung von Projekten-. Dissertation, FB 13, TH Darmstadt 1996	30,70 €
WAR 95	Lautner, Gerd: Einführung in das Baurecht. 8. erweiterte und aktualisierte Auflage, TH Darmstadt, 1997	15,40 €
WAR 96	Reichert, Joachim: Bilanzierung des Sauerstoffeintrags und des Sauerstoffverbrauchs mit Hilfe der Abluftmethode. Dissertation, FB 13, TH Darmstadt 1997	46,-- €
WAR 97	Kuchta, Kerstin: Produktion von Qualitätsgütern in der Abfallbehandlung. Dargestellt am Beispiel der Produktion in der thermischen Abfallbehandlung. Dissertation, FB 13, TH Darmstadt 1997	30,70 €
WAR 98	Görg, Horst: Entwicklung eines Prognosemodells für Bauabfälle als Baustein von Stoffstrom-betrachtungen zur Kreislaufwirtschaft im Bauwesen. Dissertation, FB 13, TH Darmstadt, 1997	46,-- €
WAR 99	Tiebel-Pahlke, Christoph: Abfallentsorgungsplanung – Beeinflussung der Umweltauswirkungen von Deponien. Dissertation, FB 13, TH Darmstadt, 1997	30,70 €

WAR 100	Wagner, Martin: Sauerstoffeintrag und Sauerstofftrag von Belüftungssystemen und deren Bestimmung mit modernen Meßmethoden. Habilitation, FB 13, TH Darmstadt, 1997	vergriffen
WAR 101	Neue Trends bei der Behandlung und Entsorgung kommunaler und industrieller Klärschlämme. 8. gemeinsames Seminar -Abwassertechnik- mit der Fakultät Bauingenieurwesen der Bauhaus-Universität Weimar am 10. und 11.09.1997 in Weimar, TH Darmstadt, 1997	35,80 €
WAR 102	Senkung der Betriebskosten von Abwasserbehandlungsanlagen. 52. Darmstädter Seminar -Abwassertechnik- am 06.11.1997 in Darmstadt, TU Darmstadt, 1997	35,80 €
WAR 103	Sanierung und Rückbau von Bohrungen, Brunnen und Grundwassermessstellen. 53. Darmstädter Seminar -Wasserversorgung- am 13.11.1997 in Darmstadt mit dem Deutschen Verein des Gas- und Wasserfaches e.V. -DVGW-, TU Darmstadt, 1997	30,70 €
WAR 104	Wünschmann, Gabriele: Untersuchungen zur Kompostierbarkeit von Reststoffen der Papierindustrie und Altpapier unter besonderer Berücksichtigung von Schadstoffbilanzierungen. Dissertation, FB 13, TU Darmstadt, 1997	25,60 €
WAR 105	Mechanisch-biologische Restabfallbehandlung unter Einbindung thermischer Verfahren für Teilfraktionen. 54. Darmstädter Seminar -Abfalltechnik- am 06.02.1998 in Darmstadt mit dem Hessischen Ministerium für Umwelt, Energie, Jugend, Familie und Gesundheit und der Südhessischen Arbeitsgemeinschaft Abfall-wirtschaft (SAGA)-. TU Darmstadt, 1998	40,90 €
WAR 106	Zentrale oder dezentrale Enthärtung von Trinkwasser – Konkurrenz oder sinnvolle Ergänzung ? 55. Darmstädter Seminar -Wasserversorgung- am 14.05.1998 in Darmstadt mit dem Deutschen Verein des Gas- und Wasserfaches e.V. -DVGW- TU Darmstadt, 1998	35,80 €
WAR 107	Dach, Joachim: Zur Deponiegas- und Temperaturentwicklung in Deponien mit Siedlungsabfällen nach mechanisch-biologischer Abfallbehandlung. Dissertation, FB 13, TU Darmstadt, 1998	35,80 €
WAR 108	Einsparung von Kosten für Betriebsmittel, Energie und Personal auf Abwasserbehandlungsanlagen. 9. gemeinsames Seminar -Abwassertechnik- am 16. und 17.09.1998 in Weimar mit der Fakultät Bauingenieurwesen der Bauhaus-Universität Weimar, TU Darmstadt, 1998	40,90 €

WAR 109	<p>Fortschritte in der Abwassertechnik – 15 Jahre Forschungs- und Entwicklungstätigkeit von Prof. Dr.-Ing. H. Johannes Pöpel.</p> <p>56. Darmstädter Seminar -Abwassertechnik- am 05.11.1998 in Darmstadt TU Darmstadt, 1998</p>	40,90 €
WAR 110	<p>Qualitativer und Quantitativer Grundwasserschutz –Stand und Perspektiven-. 57. Darmstädter Seminar -Wasserversorgung- am 10.06.1999 in Darmstadt mit dem Deutschen Verein des Gas- und Wasserfaches e.V. -DVGW- TU Darmstadt, 1999</p>	35,80 €
WAR 111	<p>Schwing, Elke:</p> <p>Bewertung der Emissionen der Kombination mechanisch-biologischer und thermischer Abfallbehandlungsverfahren in Südhessen.</p> <p>Dissertation, FB 13, TU Darmstadt, 1999</p>	30,70 €
WAR 112	<p>Schade, Bernd:</p> <p>Kostenplanung zur Analyse der Wirtschaftlichkeit von biologischen Restabfallbehandlungsanlagen.</p> <p>Dissertation, FB 13, TU Darmstadt, 1999</p>	30,70 €
WAR 113	<p>Lohf, Astrid:</p> <p>Modellierung der chemisch-physikalischen Vorgänge im Müllbett von Rostfeuerungsanlagen.</p> <p>Dissertation, FB 13, TU Darmstadt, 1999</p>	25,60 €
WAR 114	<p>Stackelberg, Daniel von:</p> <p>Biologische Festbettdenitrifikation von Grundwasser mit abbaubarem Trägermaterial.</p> <p>Dissertation, FB 13, TU Darmstadt, 1999</p>	30,70 €
WAR 115	<p>Folgerungen aus 10 Jahren Abwasserbeseitigung in den neuen Bundesländern -Erfahrungen und Perspektiven- 10. gemeinsames Seminar –Abwassertechnik- am 01. und 02.09.1999 in Weimar mit der Fakultät Bauingenieurwesen der Bauhaus-Universität Weimar, TU Darmstadt, 1999</p>	40,90 €
WAR 116	<p>Abwasserwiederverwendung in wasserarmen Regionen - Einsatzgebiete, Anforderungen, Lösungsmöglichkeiten -. 58. Darmstädter Seminar –Abwassertechnik- am 11.11.1999 in Darmstadt, TU Darmstadt, 1999</p>	vergriffen
WAR 117	<p>Reinhardt, Tim:</p> <p>Untersuchungen zur Dynamik biologischer Prozesse in drei-Phasen-Systemen am Beispiel der Restabfallrotte unter besonderer Berücksichtigung anaerober Teilprozesse.</p> <p>Dissertation, FB 13, TU Darmstadt, 1999</p>	30,70 €

WAR 118	Umweltfachpläne und Umweltgesetzbuch -Ein Beitrag zur Fortentwicklung des Umweltfachplanungssystems- und „Von der Landschaftsplanung zur Umweltschutzplanung?“ 46. Darmstädter Seminar -Umwelt- und Raumplanung- am 28.09.1995 in Darmstadt, TU Darmstadt, 1999	30,70 €
WAR 119	Herr, Christian: Innovative Analyse und primärseitige Prozeßführungsoptimierung thermischer Abfallbehandlungsprozesse – am Beispiel der Mülleingangsklassifizierung bei der Rostfeuerung. Dissertation, FB 13, TU Darmstadt, 2000	33,20 €
WAR 120	Neumüller, Jürgen: Wirksamkeit von Grundwasserabgaben für den Grundwasserschutz – am Beispiel des Bundeslandes Hessen. Dissertation, FB 13, TU Darmstadt, 2000	35,80 €
WAR 121	Hunklinger, Ralph: Abfalltechnische Kennzahlen zur umweltgerechten Produktentwicklung. Dissertation, FB 13, TU Darmstadt, 2000	30,70 €
WAR 122	Wie zukunftsfähig sind kleinere Wasserversorgungsunternehmen? 60. Darmstädter Seminar -Wasserversorgung- am 29. Juni 2000 in Darmstadt. TU Darmstadt, 2000	35,80 €
WAR 123	Massnahmen zur Betriebsoptimierung von Pumpwerken, Kanalisations- systemen und Abwasserbehandlungsanlagen. 11. gemeinsames Seminar -Abwassertechnik- in Weimar am 20. und 21. September 2000 mit der Fakultät Bauingenieurwesen der Bauhaus-Universität Weimar. TU Darmstadt, FB 13, 2000	40,90 €
WAR 124	Mohr, Karin: Entwicklung einer on-line Emissionsmeßtechnik zur quasi-kontinuierlichen Bestimmung von Organohalogen-Verbindungen in Abgasen thermischer Prozesse. Dissertation, FB 13, TU Darmstadt, 2000	30,70 €
WAR 125	El-Labani, Mamoun: Optimierte Nutzung bestehender Abfallverbrennungsanlagen durch Errichtung vorgesalteter Reaktoren zur Behandlung heizwertreicher Abfälle. Dissertation, FB 13, TU Darmstadt, 2000	25,60 €
WAR 126	Durth, Anke: Einfluß von Temperatur, Anlagenkonfiguration und Auslastung auf die Ablaufkonzentration bei der biologischen Abwasserreinigung. Dissertation, FB 13, TU Darmstadt, 2000	25,60 €

WAR 127	Meyer, Ulrich: Untersuchungen zum Einsatz von Fuzzy-Control zur Optimierung der Stickstoffelimination in Abwasserbehandlungsanlagen mit vorgeschalteter Denitrifikation. Dissertation, FB 13, TU Darmstadt, 2000	33,20 €
WAR 128	Kommunale Klärschlammbehandlung vor dem Hintergrund der neuen europäischen Klärschlammrichtlinie. 61. Darmstädter Seminar -Abwassertechnik- am 09.11.2000 in Darmstadt, TU Darmstadt, FB 13, 2000	35,80 €
WAR 129	Mengel, Andreas: Stringenz und Nachvollziehbarkeit in der fachbezogenen Umweltplanung. Dissertation, FB 13, TU Darmstadt, 2001	46,-- €
WAR 130	Kosteneinsparungen durch neuartige Automatisierungstechniken in der Wasserversorgung. 62. Darmstädter Seminar -Wasserversorgung- am 07.06.2001 in Darmstadt, TU Darmstadt, FB 13, 2001	30,70 €
WAR 131	Aktive Zukunftsgestaltung durch Umwelt- und Raumplanung. Festschrift zum 60. Geburtstag von Prof. Dr.-Ing. Hans Reiner Böhm. TU Darmstadt, FB 13, 2001	25,60 €
WAR 132	Aktuelle Ansätze bei der Klärschlammbehandlung und -entsorgung. 12. gemeinsames Seminar -Abwassertechnik- in Weimar am 05. und 06. September 2001 mit der Fakultät Bauingenieurwesen der Bauhaus-Universität Weimar. TU Darmstadt, FB 13, 2001	40,90 €
WAR 133	Zum Bodenwasser- und Stoffhaushalt auf unterschiedlich bewirtschafteten Flächen unter Einbeziehung ökonomischer Aspekte Interdisziplinäre Projektstudie der Technischen Universität Darmstadt (TUD) mit Partner. TU Darmstadt, FB 13, 2001	30,70 €
WAR 134	Neues zur Belüftungstechnik - Probleme, Lösungsmöglichkeiten, Entwicklungen - 64. Darmstädter Seminar -Abwassertechnik- am 15.11.2001 in Darmstadt, TU Darmstadt, FB 13, 2001	35,-- €
WAR 135	Auswirkungen der Verordnung über die umweltverträgliche Ablagerung von Siedlungsabfällen und über biologische Abfallbehandlungsanlagen. 63. Darmstädter Seminar -Abfalltechnik- am 12. und 13.11.2001 in Darmstadt, TU Darmstadt, FB 13, 2001	35,-- €
WAR 136	Bockreis, Anke: Infrarot-Thermographie zur Überwachung von Flächenbiofiltern. Dissertation, FB 13, TU Darmstadt, 2001	35,-- €

WAR 137	Luft, Cornelia: Luftgetragene mikrobielle Emissionen und Immissionen an aeroben mechanisch-biologischen Abfallbehandlungsanlagen. Dissertation, FB 13, TU Darmstadt, 2002	30,-- €
WAR 138	Danhamer, Harald: Emissionsprognosemodell für Deponien mit mechanisch-biologisch vorbehandelten Abfällen - Schwerpunkt: Modellierung des Gashaushaltes. Dissertation, FB 13, TU Darmstadt, 2002	25,-- €
WAR 139	Lieth, Sabine: Stickstoffelimination aus kommunalem Abwasser mit getauchten Festbetten nach Vorbehandlung mit HCR-Reaktoren. Dissertation, FB 13, TU Darmstadt, 2002	35,-- €
WAR 140	Streit, Hans-Ulrich: Optimierung des Kombinationsbetriebs eines Advanced Oxidation Process mit einer Stripp-Anlage zur Grundwassersanierung. Dissertation, FB 13, TU Darmstadt, 2002	25,-- €
WAR 141	Spura, Patrik: Ein Vergleich des anlagebezogenen tschechischen Luftreinhalterechts mit jenem der Europäischen Union vor dem Hintergrund des anstehenden Beitritts. Dissertation, Univ. Frankfurt a.M., 2002	40,-- €
WAR 142	Hilligardt, Jan: Nachhaltige Regionalentwicklung durch freiwillige regionale Kooperation - Faktoren einer erfolgreichen Initiierung untersucht an der Region Starkenburg. Dissertation, FB 13, TU Darmstadt, 2002	30,-- €
WAR 143	Heiland, Peter: Vorsorgender Hochwasserschutz durch Raumordnung, interregionale Kooperation und ökonomischen Lastenausgleich. Dissertation, FB 13, TU Darmstadt, 2002	30,-- €
WAR 144	Dapp, Klaus: Informationsmanagement in der Planung am Beispiel des vorsorgenden Hochwasserschutzes. Dissertation, FB 13, TU Darmstadt, 2002	25,-- €
WAR 145	Schüler, Doris: Untersuchungen an der Technikumsanlage VERONA zur Bildung und zum Abbau von polyhalogenierten Dioxinen und Furanen und anderen Organohalogenverbindungen in Verbrennungsprozessen. Dissertation, FB 13, TU Darmstadt, 2002	25,-- €
WAR 146	Grundwasserproblematik im Hessischen Ried : Eine unlösbare Aufgabe? 65. Darmstädter Seminar -Wasserversorgung- am 23.10.2002 in Darmstadt, TU Darmstadt, FB 13, 2002	30,-- €

WAR 147	Rückgewinnung von Phosphor aus Klärschlamm und Klärschlammasche. 66. Darmstädter Seminar -Abwassertechnik- am 07.11.2002 in Darmstadt, TU Darmstadt, FB 13, 2002	35,-- €
WAR 148	Schneider, Andreas: Role of LCA concepts at the Research and Development phase of a new process for waste treatment - The Trefoil Kiln process subject to IPPC and BAT requirements. Dissertation, FB 13, TU Darmstadt, 2002	25,-- €
WAR 149	Sonnenburg, Alexander: Untersuchungen zur Denitrifikation von Grundwasser in Schüttungen mit abbaubarem Trägermaterial. Dissertation, FB 13, TU Darmstadt, 2002	vergriffen
WAR 150	Emissionen aus der Abfallbehandlung. Energie - Emissionen – Messtechnik. 67. Darmstädter Seminar -Abfalltechnik- am 13. Februar 2003 in Darmstadt, TU Darmstadt, FB 13, 2003	35,-- €
WAR 151	Rationalisierungsmaßnahmen in der Wasserversorgung. Umsetzungsstatus und künftige Entwicklungen. 68. Darmstädter Seminar -Wasserversorgung- am 15. Oktober 2003 in Darmstadt, TU Darmstadt, FB 13, 2003	vergriffen
WAR 152	Verantwortungspartnerschaft beim vorsorgenden Hochwasserschutz. 69. Darmstädter Seminar - Umwelt- und Raumplanung - am 16. Oktober 2003 in Darmstadt, TU Darmstadt, FB 13, 2003	vergriffen
WAR 153	Biofiltration. Renaissance eines Verfahrens durch erhöhte Anforderungen im In- und Ausland ? 70. Darmstädter Seminar -Abwassertechnik- am 06. November 2003 in Darmstadt, TU Darmstadt, FB 13, 2003	35,-- €
WAR 154	Seiler, Kainan: Planung der Abwasserentsorgung im ländlichen Raum anhand von räumlichen Einflussfaktoren. Dissertation, FB 13, TU Darmstadt, 2004	30,-- €
WAR 155	Ludwig, Thomas: Entwicklung der Emissionsmessanlage DioxinCop Dissertation, FB 13, TU Darmstadt, 2004	25,-- €
WAR 156	Haffner, Yvonne: Sozialwissenschaftliche Modellierung zur Privatisierung der Wasserversorgung. Dissertation, FB 2, TU Darmstadt, 2004	vergriffen

WAR 157	Geruch Messung – Wirkung – Minderung 71. Darmstädter Seminar -Abfalltechnik- am 24. Juni 2004 in Darmstadt, TU Darmstadt, FB 13, 2004	35,-- €
WAR 158	Qualitätssicherung bei Wassergewinnungsanlagen. -Umsetzung und aktuelle Entwicklung im Regelwerk- 72. Darmstädter Seminar –Wasserversorgung– am 06.10.2004 in Darmstadt TU Darmstadt, 2004	vergriffen
WAR 159	Wasserwiederverwendung - eine ökologische und ökonomische Notwendigkeit wasserwirtschaftlicher Planung weltweit ? - 73. Darmstädter Seminar –Abwassertechnik– am 04.11.2004 in Darmstadt TU Darmstadt, 2004	vergriffen
WAR 160	Weil, Marcel: Ressourcenschonung und Umweltentlastung bei der Betonherstellung durch Nutzung von Bau- und Abbruchabfällen. Dissertation, FB 13, TU Darmstadt, 2004	35,-- €
WAR 161	Unendlicher Wachstum auf unendlicher Fläche ? 74. Darmstädter Seminar –Umwelt- und Raumplanung– am 27.01.2005 in Darmstadt TU Darmstadt, 2005	vergriffen
WAR 162	Gernuks, Marko: Entwicklung einer Methode zur Bewertung von Umweltaspekten mit der Ableitung von Umweltzielen im Rahmen von EMAS. Dissertation, FB 13, TU Darmstadt, 2004	35,-- €
WAR 163	Rother, Elmar: Optimising Design and Operation of the Biofiltration Process for Municipal Wastewater Treatment. Dissertation, FB 13, TU Darmstadt, 2005	35,-- €
WAR 164	Hilligardt, Jan: Regionale Kooperation der Landkreise, Städte und Gemeinden Stand – Potenziale – Perspektiven. Habilitation, FB 13, TU Darmstadt, 2005	vergriffen
WAR 165	Gramel, Stefan: Privatisierung von Wasserversorgungsunternehmen – Auswirkungen auf den Umwelt- und Ressourcenschutz? Dissertation, FB 13, TU Darmstadt, 2004	35,-- €
WAR 166	Krause, Stefan: Untersuchungen zum Energiebedarf von Membranbelebungsanlagen. Dissertation, FB 13, TU Darmstadt, 2005	35,-- €

WAR 167	Rückgewinnung von Phosphor aus Abwasser und Klärschlamm Konzepte - Verfahren - Entwicklungen 75. Darmstädter Seminar –Abwassertechnik– am 12./13.12.2005 in Darmstadt TU Darmstadt, 2005	vergriffen
WAR 168	Hora, Maike: Abfallverursacher Elektrogeräte. Ansätze zur prospektiven Bilanzierung von Abfallströmen in der umweltgerechten Produktentwicklung. Dissertation, FB 13, TU Darmstadt, 2005	30,-- €
WAR 169	Zhang, Wensheng: Ökologische siedlungswasserwirtschaftliche Konzepte für urbane Räume Chinas unter Berücksichtigung deutscher Techniken und Erfahrungen. Dissertation, FB 13, TU Darmstadt, 2005	30,-- €
WAR 170	Steinberg, Iris: Untersuchungen zur Effizienzsteigerung von biologischen und nicht-thermi- schen Abluftreinigungsverfahren bei der biologischen Abfallbehandlung. Dissertation, FB 13, TU Darmstadt, 2005	30,-- €
WAR 171	Haupter, Birgit: Transnationale Förderprogramme zur Raumentwicklung. Untersuchungen zur Wirkung für die räumliche Planung zum Hochwasserschutz. Dissertation, FB 13, TU Darmstadt, 2006	35,-- €
WAR 172	Ott, Carsten: Straßenkehrrichtentsorgung: Anlagenkonzept und Nachhaltigkeitsanalyse. Dissertation, FB 13, TU Darmstadt, 2006	30,-- €
WAR 173	1 Jahr Abfallablagerungsverordnung Wo bleibt der Müll? 76. Darmstädter Seminar –Abfalltechnik– am 1.06.2006 in Darmstadt TU Darmstadt, 2006	35,-- €
WAR 174	Wachstumsregion – Handlungsansätze für mehr Nachhaltigkeit. 77. Darmstädter Seminar –Umwelt- und Raumplanung– am 11.09.2006 in Darmstadt TU Darmstadt, 2006	30,-- €
WAR 175	Interdisziplinarität in der Umwelt- und Raumplanung. - Theorie und Praxis - <i>Festschrift für Professor Böhm</i> TU Darmstadt, 2006	40,-- €
WAR 176	Neue maschinen- und verfahrenstechnische Möglichkeiten zur Einsparung von Betriebskosten bei der Abwasserbehandlung. 78. Darmstädter Seminar –Abwassertechnik– am 02.11.2006 in Darmstadt TU Darmstadt, 2006	35,-- €

WAR 177	Einsparpotenziale in der Trinkwasserversorgung durch Optimierung von Wasserverteilungsnetzen. 79. Darmstädter Seminar –Wasserversorgung– am 05.10.2006 in Darmstadt TU Darmstadt, 2006	30,-- €
WAR 178	Meyer, Lutz: Exergiebasierte Untersuchung der Entstehung von Umweltbelastungen in Energieumwandlungsprozessen auf Komponentenebene: Exergoökologische Analyse. Dissertation, FB 13, TU Darmstadt, 2006	35,--
WAR 179	Gasafi, Edgard: Entwicklung einer lebenswegbasierten Screening-Methode zur Entscheidungsunterstützung in frühen Phasen der Verfahrensentwicklung. Dissertation, FB 13, TU Darmstadt, 2006	35,-- €
WAR 180	Treskatis, Christoph: Bewirtschaftung von Grundwasserressourcen -Planung, Bau und Betrieb von Grundwasserfassungen-. Habilitation, FB 13, TU Darmstadt, 2006	45,-- €
WAR 181	Uihlein, Andreas: Modellierung der Kohlenstoffströme zur Untersuchung der Nutzung von Kohlenstoffträgern in Deutschland. Dissertation, FB 13, TU Darmstadt, 2006	35,-- €
WAR 182	den Boer, Emilia: A Novel Approach for Integrating Heavy Metals Emissions from Landfills into Life Cycle Assessment - Consideration of Waste Pretreatment, Landfill Processes and Long-Term Effects Dissertation, FB 13, TU Darmstadt, 2006	30,-- €
WAR 183	Klimawandel – Anpassungsstrategien in Deutschland und Europa. 80. Darmstädter Seminar –Umwelt- und Raumplanung– am 29.03.2007 in Darmstadt TU Darmstadt, 2007	25,-- €
WAR 184	Stephan, Henrik Bewertungsmethodik für Fertigungsverfahren im Karosseriebau aus Sicht des betrieblichen Umweltschutzes. Dissertation, FB 13, TU Darmstadt, 2007	vergriffen
WAR 185	Schaum, Christian A.: Verfahren für eine zukünftige Klärschlammbehandlung -Klärschlammkonditionierung und Rückgewinnung von Phosphor aus Klärschlammasche-. Dissertation, FB 13, TU Darmstadt, 2007	35,-- €
WAR 186	Rohde, Clemens: Milchsäurefermentation von biogenen Abfällen. Dissertation, FB 13, TU Darmstadt, 2007	35,-- €

WAR 187	Risikoanalyse von Trinkwassereinzugsgebieten und Fassungen. 81. Darmstädter Seminar -Wasserversorgung- am 11.10.2007 in Darmstadt TU Darmstadt, 2007	30,-- €
WAR 188	Cangahuala Janampa, Ana: Wasserverlustmanagement in Wasserverteilungsanlagen in Entwicklungsländern am Beispiel von Peru. Anwendung verschiedener Methoden zur multikriteriellen Entscheidungsunterstützung. Dissertation, FB 13, TU Darmstadt, 2007	vergriffen
WAR 189	Pollmann, Olaf: Optimierung anthropogener Stoffströme am Beispiel des Papierrecyclings. Dissertation, FB 13, TU Darmstadt, 2007	vergriffen
WAR 190	Wie sieht die Abwasserbehandlung der Zukunft aus? -vierte, fünfte, sechste Reinigungsstufe? 82. Darmstädter Seminar -Abwassertechnik- am 15.11.2007 in Darmstadt TU Darmstadt, 2007	35,-- €
WAR 191	Koffler, Christoph: Automobile Produkt-Ökobilanzierung. Dissertation, FB 13, TU Darmstadt, 2007	35,-- €
WAR 192	Koch, Michael: Untersuchungen zum Einfluss der Energiedissipationsdichte auf Reaktionsabläufe im "Highloaded Compact Reactor" (HCR®). Dissertation, FB 13, TU Darmstadt, 2007	35,-- €
WAR 193	Den Boer, Jan: Sustainability Assessment for Waste Management Planning - Development and Alternative Use of the LCA-IWM Waste Management System Assessment Tool. Dissertation, FB 13, TU Darmstadt, 2007	30,-- €
WAR 194	Biogas Klimaretter oder Ressourcenverschwender 83. Darmstädter Seminar -Abfalltechnik- am 11.12.2007 in Darmstadt TU Darmstadt, 2007	vergriffen
WAR 195	Scheck, Natalie: Die Strategische Umweltprüfung als Instrument zur Förderung einer nachhaltigen Entwicklung – Untersuchung am Beispiel der Regionalplanung Südhessen. Dissertation, FB 13, TU Darmstadt, 2007	30,-- €
WAR 196	Klimawandel – Markt für Strategien und Technologien?! 84. Darmstädter Seminar –Abfalltechnik und Umwelt- und Raumplanung – am 26.06.2008 in Darmstadt TU Darmstadt, 2008	vergriffen

WAR 197	Hähnlein, Christian: Numerische Modellierung zur Betriebsoptimierung von Wasserverteilnetzen Dissertation, FB 13, TU Darmstadt, 2008	30,-- €
WAR 198	Berger, Jan: Biologische Methanoxidation in Deponieabdeckschichten Dissertation, FB 13, TU Darmstadt, 2008	35,-- €
WAR 199	Wellge, Steffen: Evaluation von betrieblichen Umweltmanagementsystemen Dissertation, FB 13, TU Darmstadt, 2009	35,-- €
WAR 200	Bieker, Susanne: Semizentrale Ver- und Entsorgungssysteme: neue Lösungen für schnell wachsende urbane Räume. Untersuchung empfehlenswerter Größenordnungen Dissertation, FB 13, TU Darmstadt, 2009	35,-- €

Zum Inhalt

Das gegenwärtige urbane Wachstum stellt die Welt vor neue Herausforderungen: Große Teile der urbanen Räume Asiens, Südamerikas und Afrikas müssen Zuwachsraten von bislang unerreichtem Ausmaß bewältigen. Besonders deutlich wird diese Entwicklung in den wirtschaftlich prosperierenden Regionen Asiens, in denen das Wirtschaftswachstum mit enormen Zuwachsraten der Bevölkerung von 1.000 Personen pro Tag und mehr in den urbanen Zentren einhergeht. Sowohl die Stadtentwicklungsplanung als auch insbesondere die Infrastrukturplanung und -realisierung kann mit ihren bisherigen Instrumenten und Verfahren nicht mehr Schritt halten.

Der Ansatz, integrierte semizentrale Ver- und Entsorgungssysteme für diese schnellwachsenden urbanen Räume zu entwickeln, bietet neue Lösungsmöglichkeiten. Flexiblere und gleichzeitig verlässlichere Planung und Umsetzung sind ebenso Teil des Systems wie technisch verlässliche Verfahren, die kombiniert dem Anspruch an eine nachhaltige Entwicklung näher kommen: Versorgungssicherheit auf hohem hygienischen Niveau, hohe Energie- und Ressourceneffizienz bis hin zum energieautarken Betrieb der Systeme und Flexibilität, auch unter sich verändernden räumlichen Rahmenbedingungen, schaffen neue Möglichkeiten einer zukunftsorientierten technischen Infrastrukturentwicklung. Die vorliegende Arbeit entwickelt in diesem Zusammenhang ein räumliches Modell zur Empfehlung von Größenordnungen integrierter semizentraler Ver- und Entsorgungssysteme, die den hohen Ansprüchen der dynamischen Entwicklung und gleichzeitig der Nachhaltigkeit auf soziokultureller, ökologischer und ökonomischer Ebene gerecht werden können.

Zum Autor

Susanne Bieker wurde 1976 in Essen geboren.

Nach ihrem Diplomstudium der Raumplanung an der Technischen Universität Dortmund arbeitete sie zunächst für das Büro KoRiS (Kooperative Stadt- und Regionalentwicklung) Hannover, wo sie im Rahmen des BMBF-Förderschwerpunktes „Stadt 2030“ Handlungsempfehlungen zum Umgang mit den Auswirkungen des demographischen Wandels im Großraum Hannover-Braunschweig-Göttingen entwickelte.

Im Jahr 2003 wechselte sie an das Institut WAR der Technischen Universität Darmstadt, wo sie am Fachgebiet Umwelt- und Raumplanung verschiedene interdisziplinäre Forschungsvorhaben im Kontext nachhaltiger Infrastrukturentwicklung in Asien bearbeitete. Seit Februar 2009 arbeitet sie am Fachgebiet Abwassertechnik und führt dort den interdisziplinären Forschungsbereich „Semizentral“.